

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Matija Sučić

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Neven Duić, dipl. ing.

Student:

Matija Sučić

Zagreb, 2017.

IZJAVA i ZAHVALA

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se na savjetima i stručnoj pomoći mentoru prof.dr. sc **Nevenu Duiću** i asistentima **Hrvoju Dorotiću** i **Matiji Pavičeviću**.

Zahvaljujem se **Regionalnoj energetskej agenciji Sjeverozapadne Hrvatske** i njihovom djelatniku **Adamu Babiću** koji mi je pomogao u izradi aplikacije koja se koristi u ovome radu. Aplikacija je nastala kao plod rada kolege Mateja Stipeljkovića i mene na praksi u spomenutoj agenciji.

Posebno se zahvaljujem svojim roditeljima bez čije potpore i razumijevanja ne bih mogao ostvariti sve svoje ciljeve.

Matija Sučić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodostrojarški i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Matija Sučić** Mat. br.: 0035191925

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Baza mjera energetske učinkovitosti u javnom sektoru – analiza slučaja za Zagrebačku županiju**
Naslov rada na engleskom jeziku: **Database of energy efficiency measures in the public sector – Case study for Zagreb County**

Opis zadatka:

Grijanje i hlađenje u sektoru zgradarstva predstavljaju najveći udio u finalnoj potrošnji energije u Europskoj uniji, ali istovremeno predstavljaju i najveći potencijal za uštede u primarnoj i finalnoj potrošnji. Uštede se mogu ostvariti povećanjem energetske učinkovitosti i integracijom obnovljivih izvora energije kako bi se djelomično pokrile potrebe za toplinskom i električnom energijom. Energetska učinkovitost ima vrlo važnu ulogu u smanjenju sveukupnih emisija ugljikovog dioksida i potrošnje primarne energije u EU te na taj način smanjuje i ovisnost o uvozu fosilnih goriva. Obnova zgrada je dugotrajan proces: prema EU Direktivi o energetske učinkovitosti potrebno je obnoviti 3% javnih zgrada godišnje, ali trenutni postotak obnove na godišnjoj razini je mnogo niži, oko 1%. Cilj ovoga rada je prikaz i razvoj alata koji će kao ulazne parametre imati podatke o potrošnji, karakteristikama zgrade te mjerama energetske učinkovitosti, a kao rezultat financijsku isplativost projekta energetske obnove.

U sklopu ovoga rada će se:

1. Napraviti detaljan pregled literature u području obnove zgrada u Europskoj uniji i Republici Hrvatskoj;
2. Opisati struktura i svrha baze mjera: pregled ulaznih parametara i mogućnosti povećanja energetske učinkovitosti te integracije obnovljivih izvora energije;
3. Izraditi prijedlog mjera energetske obnove za zgrade u nadležnosti Zagrebačke županije;
4. Izraditi tehnokonomsku analizu energetske obnove za zgrade u nadležnosti Zagrebačke županije.

Potrebni podaci i literatura se mogu dobiti kod mentora. U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
30. studenog 2016.

Rok predaje rada:
1. rok: 24. veljače 2017.
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2017.
3. rok: 22. rujna 2017.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 27.2. - 03.03. 2017.
2. rok (izvanredni): 30. 06. 2017.
3. rok: 25.9. - 29. 09. 2017.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Neven Duić

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Igor Balen

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS KRATICA	IV
POPIS OZNAKA	V
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY	VIII
1. UVOD	1
2. PREGLED LEGISLATIVE U PODRUČJU ENERGETSKE UČINKOVITOSTI U SEKTORU ZGRADARSTVU EUROPSKE UNIJE I REPUBLIKE HRVATSKE.....	2
2.1 Zakoni i propisi energetske politike u području obnove zgrada Europske unije.....	2
2.2 Zakoni i propisi energetske politike u području obnove zgrada Republike Hrvatske	3
3. METODA BAZE MJERA ENERGETSKE UČINKOVITOSTI.....	5
3.1 Struktura i svrha Baze mjera.....	6
3.2 Mjere energetske učinkovitosti i integracija obnovljivih izvora energije.....	7
4. ULAZNI PODACI.....	17
5. REZULTATI	23
5.1 Prikaz rezultata	23
5.1.1 Detaljniji prikaz dviju zgrada javnog sektora Zagrebačke županije.....	23
5.1.2 Prikaz utjecaja energetske mjere na udio odabranih javnih zgrada Zagrebačke županije	32
5.2 Usporedna analiza rezultata sa svim zgradama javnog sektora Zagrebačke županije.....	37
6. ZAKLJUČAK.....	39
7. LITERATURA	41

POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz propisa, programa i strategija koji proizlaze iz Zakona o energetskej učinkovitosti [7]	4
Slika 2. Prikaz propisa, metodologije i pravilnika koji proizlaze iz Zakona o gradnji[7]	4
Slika 3. Osnovni elementi energetske učinkovite zgrade	5
Slika 4. Hodogram BMEU	6
Slika 5. Mjere BMEU.....	6
Slika 6. Stupanj iskoristivosti kondezacijskog kotla [19]	11
Slika 7. Svjetlosna iskoristivost raznih vrsta žarulja kroz godine [26]	13
Slika 8. Kretanje cijene kotla	19
Slika 9. Satna krivulja proizvodnja el. energije	21
Slika 10. Odnos krivulja potrošnje i proizvodnje el.energije za zimski dan	22
Slika 11. Odnos krivulja potrošnje i proizvodnje el.energije za ljetni dan	22
Slika 12. Osnovna škola Vladimir Nazor (12)	24
Slika 13. Investicija za uvođenje mjera u Osnovnoj školi Vladimira Nazora.....	26
Slika 14. Jednostavni period povrata predloženih mjera za Osnovu školu Vladimira Nazora	26
Slika 15. Smanjenje emisije CO ₂ nakon predloženih mjera u Osnovnoj školi Vladimira Nazora	27
Slika 16. Postotak smanjenja emisije CO ₂ nakon predloženih mjera u Osnovnoj školi Vladimira Nazora	27
Slika 17. Postotak smanjenja primarne energije nakon provedenih mjera za Osnovnu školu Vladimira Nazora	27
Slika 18. Društveni dom Mala Gorica.....	28
Slika 19. Investicija za uvođenje mjera Društvenog doma Mala Gorica	30
Slika 20. Jednostavni period povrata predloženih energetske mjera	30
Slika 21. Smanjenje emisije CO ₂ nakon predloženih mjera u Društvenom domu Mala Gorica..	31
Slika 22. Postotak smanjenja emisije CO ₂ nakon predloženih mjera u Društvenom domu Mala Gorica.....	31
Slika 23. Postotak smanjenja primarne energije po mjerama za DD Mala Gorica	32
Slika 24. Investicije prema predloženim mjerama na udjelu zgrada Zagrebačke županije.	35
Slika 25. Jednostavni period povrata investicija prema predloženim mjerama na udjelu zgrada Zagrebačke županije	35
Slika 26. Smanjenje emisije CO ₂ nakon predloženih mjera.....	36
Slika 27. Postotak smanjenja emisije CO ₂ nakon predloženih mjera kod udjela zgrada javnog sektora Zagrebačke županije.....	36
Slika 28. Usporedba potrošnje i uštede primarne energije	38
Slika 29. Usporedba emisija CO ₂	38

POPIS TABLICA

Tablica 1. Financijska usporedba energenata obzirom na enregetsku vrijednost goriva i iskoristivost kotla [22].....	12
Tablica 2. Željeni koeficijenti prolaska topline.....	17
Tablica 3. Cijena izvedbe mjera u BMEU	17
Tablica 4. Faktori primarne energije [24]	18
Tablica 5. Emisijski faktor CO ₂	19
Tablica 6. Energenti korišteni u mjeri zamjene kotla i njihove specifikacije	20
Tablica 7. Svjetlosna iskoristivost prema vrsti rasvjete	20
Tablica 8. Karakteristični podaci za proračun investicije i uštedu el.energije	20
Tablica 9. Osnovni podaci o Osnovna škola Vladimir Nazor (12)	23
Tablica 10. Prikaz identificiranih mjera energetske učinkovitosti u Osnovnoj školi Vladimir Nazor	24
Tablica 11. Predložene mjere energetske obnove prema jednostavnom periodu povrata (JPP)	25
Tablica 12. Osnovni podaci o Društvenom domu Mala Gorica (13)	28
Tablica 13. Prikaz identificiranih mjera energetske učinkovitosti u Društvenom domu Mala Gorica	29
Tablica 14. Predložene mjere energetske obnove prema jednostavnom periodu povrata (JPP)	29
Tablica 15. Prikaz ušteda, investicija, smanjenja CO ₂ javnih zgrada Zagrebačke županije primjenom mjera energetske uštede i integracije OIE.....	32
Tablica 16. Predložene mjere energetske obnove prema jednostavnom periodu povrata javnih zgrada Zagrebačke županije (JPP)	34
Tablica 17. Prikaz prosječne godišnje neposredne potrošnje energije u sektoru zgradarstva Zagrebačke županije po pojedinom energentu [23].....	37
Tablica 18. Prikaz prosječne godišnje primarne potrošnje energije u sektoru zgradarstva Zagrebačke županije po pojedinom energentu [23].....	37

POPIS KRATICA

BMEU - Baza mjera energetske učinkovitosti

EU - Europska Unija

REGEA – Regionalna energetska agencija

EK - Europska komisija

COP 21 – Pariški klimatski sporazum

POPIS OZNAKA

Oznaka	Mjerna jedinica	Opis
A	m^2	Površina vanjskog zida
A_s	m^2	Površina vanjske stolarije
ce_n	HRK/kWh	Cijena novog energenta
ce_s	HRK/kWh	Cijena energenta za grijanje
e_{co2i}	kg/god	Smanjenje emisije CO ₂
e_e	kg/kWh	Jedinična emisija CO ₂ energenta za grijanje
e_{st}	kWh/kWp	Specifična godišnja proizvedena el.energija
Eu_i	kWh	Energetska ušteda topline kroz vanjski zid/ krov
f_{pza}		Faktor povećanja cijene ako je zgrada pod kulturnom zaštitom
G_n	%	Gubitak uslijed neučinkovitosti novog kotla
G_{st}	%	Gubitak uslijed neučinkovitosti starog kotla
HT_{ie}	W/K	Transmisijski gubitak topline kroz zid
\emptyset	lm	Svjetlosni tok
P_{fn}	kW	Snaga fotonaponskog modula
P_n	kW	Snaga nove LED rasvjete
$P_{s,i}$	kW	Snaga zastarjele rasvjete
Q_{el}	kWh	Ušteda el.energije
Q_{fn}	kWh	Količina električne energije dobivena iz fotonaponskog sustava

$Q_{gr,pot}$	kWh	Potrebna toplinska energija nakon sanacije vanjske ovojnice
Q_p	kWh	Gubitak topline kroz zid/krov
Q_{uinf}	kWh	Ušteda energije zbog smanjenja infiltracije
Q_{utrans}	kWh	Ušteda energije zbog smanjenja transmisije
t	h	Prosječan broj radnih sati sijalice
T_k	kn	Trošak za kupnju struje
T_n	kn	Trošak za struju nakon instaliranog fotonaponskog sustav
U_k	W/m ² K	Zadani konačni koeficijenti prolaska topline
$U_{n,i}$	W/m ² K	Koeficijent prolaska topline nakon sanacije vanjskog
U_p	W/m ² K	Koeficijent prolaska topline starog vanjskog zida/krova
$U_{st,t}$	W/m ² K	Koeficijent prolaska topline stare vanjske stolarije
Z_{st}	kn	Zarada od prodane struje
η_i	lm/kW	Svjetlosna iskoristivost zastarjele rasvjete
η_{led}	lm/kW	Svjetlosna iskoristivost LED rasvjete

SAŽETAK

U ovome radu, pomoću aplikacije *Baze mjera energetske učinkovitosti (BMEU)*, prikazana je ušteda primarne energije, smanjenje emisija CO₂, iznos investicije te jednostavni period povrata za udio zgrada javnog sektora Zagrebačke županije. BMEU jest aplikacija koja u sebi uključuje 6 mjera energetske učinkovitosti i integrirane obnovljive izvore energije: toplinsku izolaciju vanjskoga zida, zamjenu vanjske stolarije, izolaciju krova/stropa, ugradnju novog kotlovskog sustava (biomasa/kondenzacijski kotao na prirodni plin), zamjenu starog i niskoučinkovitog sustava rasvjete i ugradnju fotonaponskog sustava. Izračun mjera energetske učinkovitosti bazira se na podacima prikupljenima iz izvješća o energetske pregledima. U radu se nalazi detaljni proračun zgrade javnog sektora s najmanjim i najvećim jednostavnim periodom povrata te obuhvaća proračun 20 zgrada javnog sektora Zagrebačke županije koji iznosi 10% njenog ukupnog djela zgrada javnog sektora. Najveća ušteda primarne energije od 53% može se ostvariti predloženom mjerom zamjene starog kotlovskog sustava dok ostale mjere u prosjeku daju uštedu od 52%. Zamjenom starog kotlovskog sustava može se postići najmanji period povrata u trajanju od 6 godina. U usporednoj analizi pokazano je da 10% javnih zgrada Zagrebačke županije nakon predloženih mjera ima potencijal za uštedu primarne energije od 14% ukupne potrošnje svih javnih zgrada. Potencijal smanjenja emisija stakleničkih plinova u cjelokupnom sektoru javnih zgrada nakon svih predloženih mjera iznosi 16%

Ključne riječi: Zgrade javnog sektora, Ušteda primarne energije, Smanjenje emisija stakleničkih plinova, Baza mjera energetske učinkovitosti, Jednostavni period povrata

SUMMARY

This thesis uses the software Database of Energy Efficiency Measures (in Croatian: Baza mjera energetske učinkovitosti, BMEU) to show the energy savings, decrease in CO₂ emissions, investments and payback period for the public-sector buildings of Zagreb County. BMEU is an application that includes six energy conservation measures and integrated renewable energy sources: outer wall heat insulation, replacement of outer woodworks, ceiling insulation, installation of new boiler systems (biomass/condensing boiler with natural gas), replacement of old and inefficient lighting systems as well as photovoltaic systems. The energy efficiency calculations are based on data gathered from energy audit reports. The thesis contains a detailed energy analysis of public sector buildings with minimum and maximum payback periods. The study involved 20 public sector buildings of Zagreb County which accounts for 10% of all public-sector buildings. Maximum primary energy savings of 53% can be achieved by changing the old boiler systems while other methods result in average savings of 52%. The minimum payback period that can be achieved is 6 years with replacement of old boilers. In the comparative analysis, it is shown that 10% of public-sector buildings of Zagreb County have the potential of saving 14% of all primary energy used in public sector buildings if the proposed measures are implemented. The maximum achievable decrease of CO₂ emissions by public-sector buildings is 16% with the proposed measures.

Keywords: public sector buildings, primary energy savings, reducing greenhouse gas emissions, database of energy efficiency measures, payback period.

1. UVOD

Pokazatelji gospodarske i tehnološke razvijenosti u direktnoj su vezi s potrošnjom energije, njenim rastom povećava se bruto domoći proizvod (BDP) [1]. Proizvodnja energija iz fosilnih goriva onečišćuje okoliš te ima direktan utjecaj na globalno zatopljenje [2]. Rješenje ovog problema nalazi se u konceptu održivog razvoja [3]. Održivi razvoj unutar ekonomske i energetske politike ima cilj sigurne opskrbe energijom s malim troškovima te zaštita ljudskog zdravlja i okoliša [4]. Unutar održivog razvoja pod pojmom energetske učinkovitosti implementirale su se mjere koje vode k cilju smanjenja štetnih emisija u okoliš iz energetskog sektora, otvaranja novih radnih mjesta, povećanja sigurnosti i opskrbe energijom.

Europska komisija je postavila vrlo ambiciozne ciljeve u svojoj energetske-klimatskoj strategiji te samim time predvodi svjetsku borbu protiv klimatskih promjena. Razvijene zemlje smanjivanjem emisija stakleničkih plinova za 80 - 90% do 2050. godine zadržale bi globalno zatopljenje ispod 2°C [2]. EU se zbog pretjeranog korištenja fosilnih goriva te njihovog utjecaja na rast emisije stakleničkih plinova usredotočila na povećano korištenje obnovljivih izvora energije i na poboljšanje energetske učinkovitosti, naročito u zgradarstvu.

U ukupnoj potrošnji finalne energije sektor zgradarstva ima potrošnju 40% [8]. Energetska učinkovitost ne smije se promatrati isključivo kao štednja energije, jer štednja uvijek podrazumijeva određena odricanja, dok učinkovita upotreba energije uglavnom ne narušava postojeće uvjete rada i življenja [5].

2. PREGLED LEGISLATIVE U PODRUČJU ENERGETSKE UČINKOVITOSTI U SEKTORU ZGRADARSTVU EUROPSKE UNIJE I REPUBLIKE HRVATSKE

2.1 Zakoni i propisi energetske politike u području obnove zgrada Europske unije

Kako sektor zgradarstva ima najveći potencijal za energetske uštede, mjere koje se implementiraju mogu značajno utjecati na ispunjavanje obveza smanjivanja stakleničkih plinova prema Kyoto protokolu, ali sada i prema Pariškom klimatskom sporazumu (COP 21) .

Zbog velikog razmjera u energetske svojstvima zgrada među zemljama EU, napisana je i usvojena Direktiva 2002/91/EZ o energetske svojstvima zgrada. U njoj su utvrđene metode izračuna energetske učinkovitosti zgrada, minimalni zahtjevi za nove i postojeće velike zgrade te izrada energetske certifikata. Zamijenjena je 1. veljače 2012. preinačenom Direktivom 2010/31/EU [6] , koja je izglasana u srpnju 2010. Njezini ciljevi su pojednostavniti pojedine odredbe prethodne i povećati zahtjeve u pogledu energetske učinkovitosti.

Najvažniji ishodi Direktive 2010/31/EU :

- a) Zajednička metodologija izračunavanja integrirane energetske učinkovitosti zgrada i građevinskih cjelina;
- b) Zahtjevom ishoda donesena je nova odredba da od 31.12.2020. sve nove zgrade moraju imati gotovo nultu potrošnju energije
- c) Primjena minimalnih zahtjeva na energetske učinkovitost: postojećih zgrada, dijelova zgrada koji se renoviraju u većim razmjerima, tehničkih sustava koji se ugrađuju, zamjenjuju ili nadograđuju u zgradu;
- d) Energetski certifikati zgrade ili djela zgrade, redovna provjera sustava klimatizacije i grijanja, sustavi neovisnih kontrola certifikata i inspekcijski pregled izvješća.

Ovom direktivom doneseni su zahtjevi za zemlje članice EU, ali svaka članica može uvesti i svoje dodatne mjere.

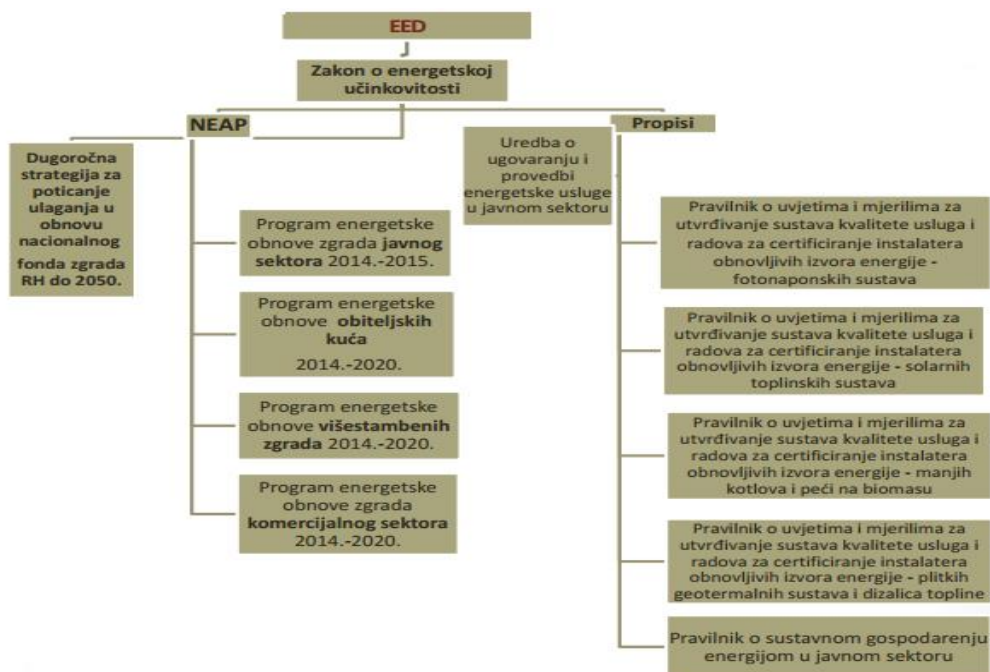
Izvješće o ocjeni učinkovitosti trenutačne financijske potpore u ostvarenju energetske učinkovitosti u zgradama služi kao dokument za praćenje preinačene Direktive. Njime se nastoji pomoći državama EU u provedbi uvođenja dugoročne strategije za pokretanje ulaganja u renoviranje nacionalnog stambenog fonda

2.2 Zakoni i propisi energetske politike u području obnove zgrada Republike Hrvatske

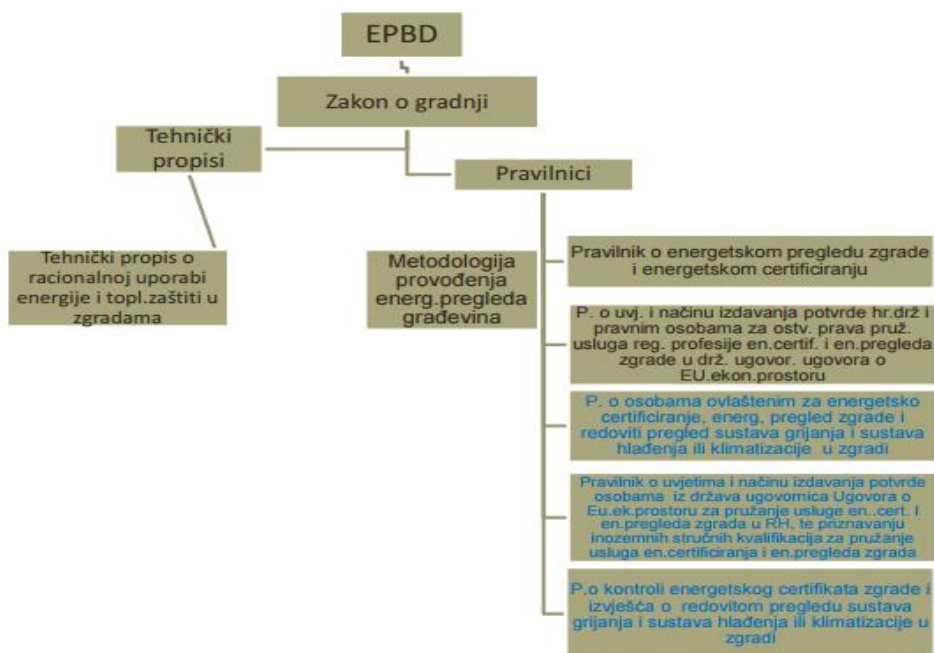
Republika Hrvatska već nekoliko godina pridodaje veću pažnju energetske učinkovitosti u sektoru zgradarstva. Temeljni dokument kojim se utvrđuje energetska politika i planira energetski razvitak je Strategija energetskog razvoja koja se donosi za razdoblje od najmanje 10 godina [10]. Strategija je glavni dokument za zakone i propise, te provedbu programa. Ovom strategijom se u potpunosti transponiraju zahtjevi Direktive 2002/91/ o energetskim svojstvima zgrada. Postupkom transponiranja treba se postići smanjenje specifične potrošnje energije propisivanjem minimalnih zahtjeva na energetska svojstva zgrada (potrebno je ostvarivati standarde zgrada gotovo nulte energije, posebice u novim ili renoviranim zgradama države, regionalne i lokalne uprave) [9]. Pošto je u međuvremenu došlo do nove direktive o energetskim svojstvima zgrada koja je opisana u poglavlju iznad, čeka se donošenje nove Strategije energetskog razvoja.

Temeljem europske Direktive 2006/32/EC o energetske učinkovitosti i energetskim uslugama (ESD) napisan je i donesen Nacionalni program energetske učinkovitosti za razdoblje 2008.-2016. godine. Na temelju tog dokumenta kojem je zadani cilj energetska ušteda, doneseni su trogodišnji nacionalni planovi energetske učinkovitosti. Vlada Republike Hrvatske je temeljem Strategije energetskog razvoja za razdoblje 2008.-2016. godine donijela tri nacionalna akcijska plana [11], [12], [13], a u tijeku je donošenje i četvrtog. Svi ovi dokumenti imaju u sebi razne mjere koje se odnose na energetske uštede u zgradarstvu. Neke od važnijih mjera su: povećanje broja zgrada s gotovo nultom potrošnjom energije, poticanje integralne obnove višestambenih zgrada i program energetske obnove komercijalnih nestambenih zgrada [10] .

Direktiva 2012/27/EU (EED) [18] i Direktiva 2010/31/EU (EPBD) [17] su dvije direktive EU iz kojih proizlaze dva osnovna zakona (Zakon o energetske učinkovitosti i Zakon o gradnji) vezana za energetske politike u području obnove zgrada u Republici Hrvatskoj. Svi ostali propisi, strategije, programi i pravilnici koji su na neki način vezani za energetske učinkovitost u zgradarstvu proizlaze ili se nadovezuju na ta dva zakona, što prikazuje Slika 1. i Slika 2.



Slika 1. Prikaz propisa, programa i strategija koji proizlaze iz Zakona o energetskej učinkovitosti [7]



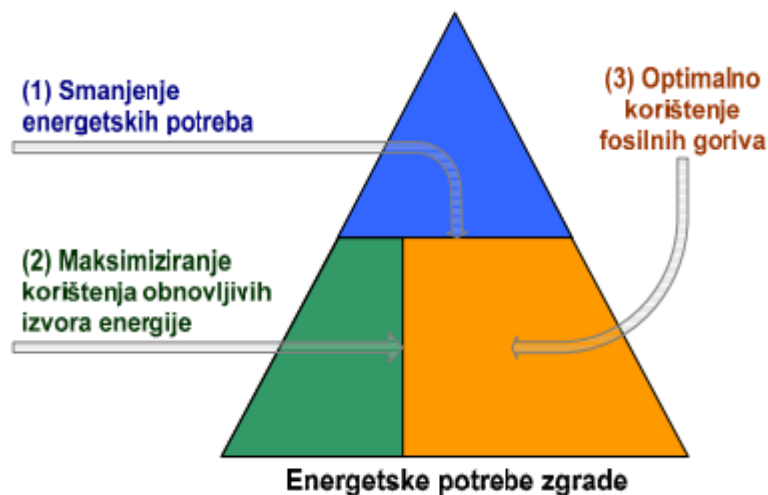
Slika 2.Prikaz propisa, metodologije i pravilnika koji proizlaze iz Zakona o gradnji[7]

3. METODA BAZE MJERA ENERGETSKE UČINKOVITOSTI

U ovom radu dan je pregled metode koja se koristila pri razvoju BMEU. Baza je razvijana u sklopu europskih projekata Regionalne energetske agencije Sjeverozapadne Hrvatske (REGEA).

Za kvalitetnu mogućnost identifikacije energetske mjere, potreban je integralni pristup kod određivanja rješenja metodologije koja se koristi u BMEU. Važno je definirati sve bitne arhitektonske i građevinske elemente te energetske sustave u javnim zgradama. Nakon definiranja elemenata potrebno je modelirati sustav sa što većom energetskom učinkovitošću i što manjim utjecajem na okoliš.

Slika 3. prikazuje tri ključna elementa energetske učinkovite zgrade. U njihovom fokusu definirano je smanjenje energetske gubitaka, povećanje korištenja OIE te smanjenje korištenja fosilnih goriva u skladu s ekološkim zahtjevima.



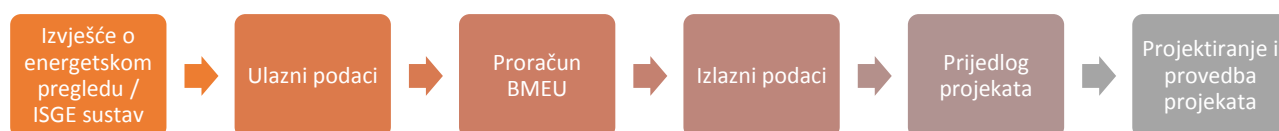
Slika 3. Osnovni elementi energetske učinkovite zgrade .

3.1 Struktura i svrha Baze mjera

Baza mjera energetske učinkovitosti je aplikacija za prepoznavanje financijski isplativih projekata povećanja energetske učinkovitosti i korištenja obnovljivih izvora energije. Aplikacija se koristi u svrhu identifikacije projektnih zadataka energetske obnove.

Namijenjena je organizacijama koje su odgovorne za veliki broj zgrada, poput primjerice jedinica lokalne i regionalne samouprave te velikim poduzećima. Temeljem BMEU omogućava se prepoznavanje prioriternih i/ili financijski najisplativijih projekata, a ujedno se olakšava izrada financijskih planova.

Slika 4. prikazuje redoslijed koraka pri korištenju BMEU. Iz izvješća o energetske pregledu upisuju se ulazni podaci te se na temelju njih provodi proračun. Na temelju njega i izlaznih podataka radi se prijedlog projekta. Ukoliko se prijedlog prihvati ide se njegovu provedbu.



Slika 4. Hodogram BMEU

Slika 5. sadrži popis energetski mjera koje se koriste u ovome radu : obnova vanjskog zida, promjena vanjske stolarije, obnova krova/stropa, zamjena starog kotla, zamjena stare rasvjete i ugradnja fotonaponskih modula.



Slika 5. Mjere BMEU

Izračun mjera energetske učinkovitosti se bazira na podacima prikupljenima iz izvješća o energetskim pregledima, a svaka od navedenih mjera je vrednovana kroz sljedeće parametre:

- Ušteda energije;
- Ušteda primarne energije;
- Investicijski troškovi;
- Financijska ušteda;
- Jednostavni period povrata investicije;
- Smanjenje emisije CO₂.

Algoritam BMEU se bazira na stvarnim troškovima i stvarno očekivanim uštedama. Navedeno čini bitnu razliku od ostalih alata koji se zadržavaju samo na teoretskim modelima.

3.2 Mjere energetske učinkovitosti i integracija obnovljivih izvora energije

BMEU je aplikacija koja sadrži veliki broj ulaznih parametra dobivenih iz energetskih izvješća o zgradama, informacijskog sustava za gospodarenje energijom (ISGE), energetskih certifikata i termografskih pregleda zgrada.

Mjere energetske učinkovitosti:

a) Zamjena vanjske ovojnice

Na poboljšanje energetske učinkovitosti zgrade moguće je utjecati ugradnjom toplinske izolacije na vanjsku ovojnicu zgrade [13]. Tim se postupkom smanjuje gubitak topline a samim time i troškovi grijanja.

Korištenjem BMEU može se provjeriti kolika je ušteda toplinske energije za više zgrada jedne organizacije kao na primjer jedinica lokalne samouprave i vidjeti isplati li se postavljati izolaciju na pojedinu zgradu ili ne. Kriteriji prepoznavanja postavljanja izolacije mjeri se na temelju gore navedenih parametara. Oni se računaju pomoću ulaznih podataka :

- koeficijent prolaska topline neizoliranog vanjskog zida U_p (W/m²K)
- površina vanjskog zida A (m²),
- zadani konačni koeficijenti prolaska topline U_k (W/m²K),
- faktor povećanja cijene ako je zgrada pod kulturnom zaštitom f_{pza} ,
- transmisijski gubitak topline kroz zid $H_{T,ie}$ (W/K),
- gubitak topline kroz zid Q_p (kWh).

Postavljanjem izolacije na vanjski zid sa što manjim koeficijentom prolaska topline U_p (W/m²K) postiže se ušteda toplinske energije (kWh). Ona se u BMEU izračunava umnoškom postotka smanjenja koeficijenta prolaska topline i gubitka topline kroz vanjski zid.

$$E_{u,i} = 1 - \left(\frac{U_{n,i+0,1}}{U_{p,i+0,1}} \right) \cdot Q_{pi} \quad (1)$$

Pri čemu je :

$E_{u,i}$ – energetska ušteda topline kroz vanjski zid/ krov (kWh)

$U_{n,i}$ - koeficijent prolaska topline nakon sanacije vanjskog zida/krova (W/m²K)

$U_{p,i}$ - koeficijent prolaska topline neizoliranog vanjskog zida/krova (W/m²K)

Q_{pi} - gubitak topline kroz zid/krov (kWh)

Izračun financijske uštede u BMEU provodi se umnoškom cijene energenta za grijanje (HRK/kWh) i ranije proračunate energetske uštede topline (kWh). Ovaj model provodi se u svim mjerama u ovom radu.

$$U = c_{e,s} \cdot E_{u,i} \quad (2)$$

Pri čemu je :

$c_{e,s}$ - cijena energenta za grijanje (HRK/kWh)

Proračun smanjenja ispuštanja stakleničkih plinova svedenih na ekvivalentnu emisiju ugljikovog dioksida (CO₂) pomoću BMEU računa se tako da se pomnoži emisijski faktor CO₂ sveden na energetske jedinice goriva (kg/kWh) i ušteda toplinske energije (kWh)

$$e_{co2i} = e_e \cdot E_{u,i} \quad (3)$$

Pri čemu je :

e_{co2i} – smanjenje emisije CO₂ (kg/god)

e_e – emisijski faktor CO₂ po energetske jedinici (kg/kWh)

$E_{u,i}$ – ušteda toplinske energije (kWh)

Mjerom koja propisuje zamjenu stare vanjske stolarije s novom možemo utjecati na smanjenje gubitka topline, odnosno na veću energetska učinkovitost zgrade.

BMEU također može odrediti vrednovane parametre koji se računaju pomoću ovi ulaznih podataka:

- koeficijent prolaska topline stare vanjske stolarije $U_{st,t}$ (W/m²K),
- površina vanjske stolarije A_s (m²),
- površinski udio navedene stolarije % (udio stolarije koje treba mjenjati u ukupnoj) ,
- novi koeficijenta prolaska topline vanjske stolarije $U_{st,n}$ (W/m²K),,
- ventilacijski gubitak topline infiltracije (kWh)
- transmisijski gubitak topline (kWh)

Ušteda toplinske energije zamjenom vanjske stolarije u BMEU izračunava se zbrajanjem ušteda zbog smanjenja energije infiltracije (kWh) i transmisije (kWh).

$$Q_{uk} = Q_{uinf} + Q_{utrans} \quad (4)$$

Pri čemu je :

Q_{uinf} - ušteda energije zbog smanjenja infiltracije (kWh)

Q_{utrans} - ušteda energije zbog smanjenja transmisije (kWh)

Ušteda energije zbog smanjenja infiltracije i transmisije dobiva se pomoću promjene broja izmjena zraka i novog koeficijenta prolaska topline (određen zahtjevom Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitosti kod izrade REGEINIH projekata)

Financijska ušteda i smanjenje emisije stakleničkih plinova (CO₂) računaju se jednako kao i kod mjere izolacije vanjskog zida.

Mjerom izoliranja krovišta zgrade moguće je smanjiti toplinske gubitke i do 20% koji se dešavaju kroz neizoliran stari krov [15].

Ulazni podaci ove mjere u BMEU pomoću kojih se dolazi do vrednovanih parametara :

- trenutnog koeficijenta prolaska topline vanjskog zida U_p (W/m²K),
- površina krova/stropa zida A_k (m²),
- zadanog konačnog koeficijenta prolaska topline U_k (W/m²K),
- jedinični trošak investicije (HRK/m²)
- transmisijskog gubitka topline kroz krov/strop $H_{k/s}$ (W/K),
- gubitak topline kroz krov/strop Q_p (kWh).

Financijske uštede, toplinske uštede energije i proračun smanjenje emisija stakleničkih plinova (CO₂) za mjeru izolacije krova/stropa računaju se jednako kao i kod mjere izolacije vanjskog zida. Što prikazuju jednadžbe (1), (2) i (3).

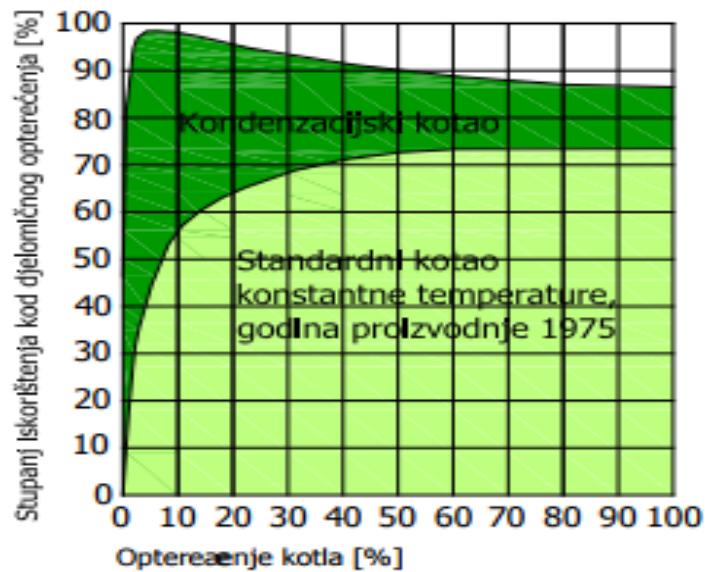
b) Zamjena kotla za grijanje

Stari kotlovi (lož ulje) u starim zgradama radi veće energetske učinkovitosti zamjenjuju se novim kotlovima (kondenzacijski kotao, kotao na biomasu) ili modernim sustavima za grijanje/ hlađenje (dizalica topline: zemlja/zrak, voda/zrak, zrak/zrak) .

BMEU ima mogućnost odabira zamjene starog kotla novim kotlom. Vrste izbora novih kotlova su :

- kotao na biomasu (kotao na drvenu sječku i kotao na pelete)
- kondenzacijski kotao na prirodni plin.

Učinkovitost kondenzacijskog kotla kreće se do 99% (ovisno o opterećenju) zbog toga što oni rade s temperaturama vode nižim od temperature rošenja vlage iz dimnih plinova (kod prirodnog plina 57°C) pa iskorištavaju i toplinu kondenzacije vodene pare sadržane u dimnim plinovima. Ta je učinkovitost znatno veća nego kod starog kotla na lož ulje, što prikazuje Slika 6. [19].



Slika 6. Stupanj iskoristivosti kondenzacijskog kotla [19]

Kada se u BMEU odabere jedna od opcija zamjene kotla, jedan od važnijih parametara jest ušteda ulazne energije na temelju učinkovitosti kotla.

$$Q_{u,kot} = (G_{st} - G_n) \cdot Q_{gr,potr} \quad (5)$$

Pri čemu je :

G_{st} - gubitak uslijed neučinkovitosti starog kotla (%)

G_n – gubitak uslijed neučinkovitosti novog kotla (%)

$Q_{gr,potr}$ – potrebna toplinska energija nakon sanacije vanjske ovojnice (kWh)

Pošto su gubici uslijed neučinkovitosti starog i novog kotla kod biomase skoro pa jednaki (Tablica 1), u njihovom slučaju ne možemo govoriti o uštedi energije.

Financijska ušteda :

$$U = Q_{gr,potr} \cdot c_{e,s} - (Q_{gr,potr} - Q_{u,kot}) \cdot c_{e,n} \quad (6)$$

Pri čemu je :

$c_{e,n}$ – cijena novog energenta (HRK/kWh)

Tablica 1. Financijska usporedba energenata obzirom na energetske vrijednosti goriva i iskoristivost kotla [25]

GORIVO	Jedinica mjere	Energetska vrijednost (kWh/j.mj.)	Korisnost η kotla (%)	Cijena kn/kWh
Prirodni plin klasični kotao	kWh	1	0,92	0,29
Prirodni plin kondenzacijski kotao	kWh	1	0,97	0,29
UNP (LPG) (plin u spremnicima)	kg	12,82	0,92	0,45
Električna energija	kWh	1	0,99	0,90
Ekstra lako ulje (Lož ulje)	L	9,96	0,92	0,42
Posušeno drvo <20% vlage	m ³	1.800	0,70	0,22
Pelet (BIODOM27)	kg	5	0,92	0,30

Svjetlosni tok :

$$\Phi = P_{s,i} \cdot \eta_i \quad (7)$$

Pri čemu je :

Φ – svjetlosni tok (lm)

$P_{s,i}$ – snaga zastarjele rasvjete (i – žarna nit, fluo T8 i živine sijalice) (kW)

η_i – svjetlosna iskoristivost zastarjele rasvjete (lm/kW)

Snaga nove LED rasvjete :

$$P_n = \frac{\Phi}{\eta_{led}} \quad (8)$$

Pri čemu je :

P_n – snaga nove LED rasvjete (kW)

η_{led} – svjetlosna iskoristivost LED rasvjete (lm/kW)

Primjenom LED rasvjete ostvarena je uštedu električne energije :

$$Q_{el} = P_n \cdot t \quad (9)$$

Pri čemu je :

Q_{el} – ušteda el.energije (kWh)

P_n - snaga nove LED rasvjete (kW)

t - prosječan broj radnih sati sijalice (h)

Uštedom električne energije primjenom LED rasvjete smanjuje se emisija CO₂ , proračun je prikazan jednadžbom (3)

d) Ugradnja fotonaponskog sustava

Ova mjera u BMEU podijeljena je na dvije vrste proračuna.

Prvi dio se proračunava tako da se fotonaponski moduli postavljaju na cijelu korisnu površinu, dok drugi dio da se postavi njihova količina koja bi približno zadovoljila potrebe potrošnje zgrade. Odabire se onaj proračun koji ima manji jednostavni period povrata.

Financijska ušteda za mjeru ugradnje fotonaponskog sustava izračunava se tako da se oduzme trošak za struju nakon njegovog postavljanja (T_n) od troška električne energije koji je bio prije (godišnji račun za električnu struju) (T_p).

$$U_{el} = T_p - T_n \quad (10)$$

Trošak nakon instaliranog fotonaponskog sustava računa se tako da se oduzmu trošak za kupnju struje (T_k) i zarada od prodane struje (Z_{st}) (princip dvosmjernog brojila).

Satnim krivuljama proizvodnje i potrošnje električne energije dobije se podatak koliko je električne energije potrebno kupovati, a koliko prodavati. U poglavlju 4. opisan je način dobivanja satnih krivulja.

Količina električne energije dobivena iz fotonaponskog sustava:

$$Q_{fn} = P_{fn} \cdot e_{st} \quad (11)$$

Pri čemu je :

Q_{fn} - količina električne energije dobivena iz fotonaponskog sustava (kWh)

P_{fn} – snaga fotonaponskog modula (kW)

e_{st} – specifična godišnja proizvedena el.energija (kWh/kW_p) za Zagreb – 1140 kWh/kW_p [27]

Snaga fotonaponskog modula (kW)

$$P_{fn} = A_p \cdot \frac{P_{naz}}{A_{od}} \quad (12)$$

Pri čemu je :

A_p – korisna površina krova

P_{naz} – nazivna snaga fotonaponskog modula od 1 kW_p

A_{od} – površina za određenu snagu pojedinog modula (9m^2) [23]

Investicijski troškovi određeni su metodom „ključ u ruke“, te uključuje izradu projektne dokumentacije, instaliranje, podešavanje i puštanje u pogon (Cijena :10000 kn/kW).

4. ULAZNI PODACI

Ovaj rad izrađen je u suradnji sa REGEOM. Svi važni podaci koji su bili potrebni za proračun u ovom radu uglavnom su dobiveni od REGEA iz njihove baze podataka za izradu raznih certifikata, energetske izvještaja i projekata.

a) Vanjska ovojnica

Tablica 2. prikazuje željene koeficijente prolaska topline nakon postavljanja izolacije, a samim tim željenim koeficijentom određujemo i debljinu vanjske toplinske izolacije. Koeficijenti su odabrani prema kriteriju Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost.

Tablica 2. Željeni koeficijenti prolaska topline

Građevni dio	Odabrani koeficijenti
Vanjski zid ($\text{W/m}^2\text{K}$)	0,25
Krov/strop ($\text{W/m}^2\text{K}$)	0,20
Vanjska stolarija ($\text{W/m}^2\text{K}$)	1,40

Tablica 3. prikazuje cijene za izvedbu izmjene raznih mjera promjene vanjske ovojnice .

Tablica 3. Cijena izvedbe mjera u BMEU

Mjera	Cijena ¹ (HRK/m ²)
Toplinska izolacija vanjskog zida	350 kn
Zamjena postojeće vanjske stolarije ($1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$)- PVC	1.000 kn
Toplinska izolacija kosog krova	250 kn
Toplinska izolacija kosog krova i pokrova	500 kn
Toplinska izolacija poda potkrovlja	110kn
Toplinska izolacija poda potkrovlja i pokrova	360 kn
Toplinska izolacija ravnog krova	460 kn

¹ Cijene su uniformirane iz baze podataka Regionalne energetske agencije Sjeverozapadne Hrvatske

- Mjera *Toplinska izolacija vanjskog zida* uključuje dobavu i montažu nove izolacije sa svim potrebnim materijalom za njezino učvršćivanje ili lijepljenje te njezinu završnu obradu.
- Zamjena postojeće vanjske stolarije uključuje demontažu i zbrinjavanje postojeće stolarije, dobavu i montažu nove.

Toplinska izolacija kosog krova/ pokrova/ poda potkrovlja/ ravnog krova uključuje dobavu, rad, transport te sav materijal i pribor potreban za njenu postavu.

Tablica 4. i Tablica 5. sadrže faktore koji su potrebni za proračun primarne energije i smanjenje emisije stakleničkih plinova svedenih na CO₂

Tablica 4. Faktori primarne energije [27]

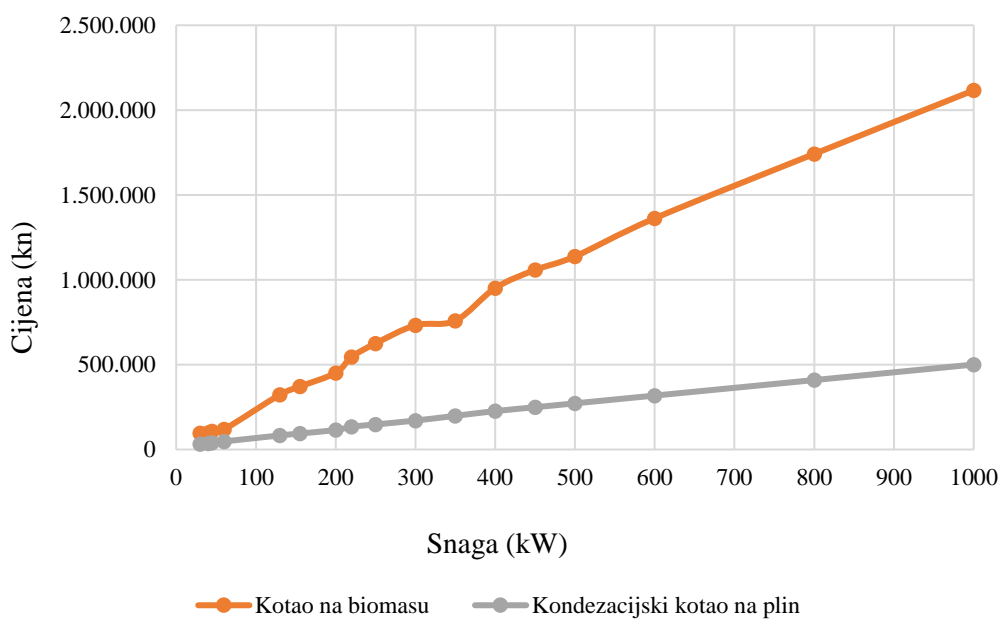
Faktori primarne energije	
Kameni ugljen	1,038
Mrki ugljen	1,054
Lignit	1,081
Ogrjevno drvo	0,110
Drveni briketi	0,117
Drveni peleti	0,123
Drvena sječka	0,154
Drveni ugljen	0,100
Sunčeva energija	0,024
Geotermalna energija	0,080
Prirodni plin	1,095
UNP	1,160
Petrolej	1,033
Ekstra lako loživo ulje	1,138
Loživo ulje	1,130
Električna energija	1,614
Toplana	1,494

Tablica 5. Emisijski faktor CO₂

Emisijski faktor CO ₂ - po energetskej jedinici goriva	
	kg/kWh
Drveni peleti	0,0344
Drvena sječka	0,0423
Ogrjevno drvo	0,0290
UNP	0,2608
Ekstra lako loživo ulje	0,2640
Električna energija	0,3760
Prirodni plin	0,2010
Toplana	0,3000

b) Zamjena kotlovskeg sustava za grijanje

Slika 8. prikazuju kretanje cijene kondenzacijskog kotla na prirodni plin i kotla na biomasu u ovisnosti o snazi kotla.



Slika 8. Kretanje cijene kotla

Tablica 6. Energenti korišteni u mjeri zamjene kotla i njihove specifikacije

Energent za grijanje prostora	Cijena (HRK/kWh)	Jedinična emisija CO₂ (kg/kWh)
Kotao na drvenu sječku	0,13	0,042
Kotao na pelete	0,38	0,034
Kondenzacijski kotao na prirodni plin	0,41	0,201

Učinkovitosti kotla :

Kotao na biomasu - $\eta_{\text{kota}} = 0,85$

Kondenzacijski kotao na prirodni plin - $\eta_{\text{kota}} = 0,97$

c) Zamjena starog i niskoučinkovitog sustava rasvjete

U metodologiji zamjene starog i niskoučinkovitog sustava rasvjete potrebna je svjetlosna iskoristivost prema vrsti rasvjete, koju prikazuje Tablica 7.

Tablica 7. Svjetlosna iskoristivost prema vrsti rasvjete

	Živina sijalica	Žarna nit	LED	Fluo T8
Svjetlosna iskoristivost (lm/kW)	40.000	17.000	94.000	90.000

Tablica 8. prikazuje karakteristične podatke koji se koriste u proračunu investicije i uštede el.energije

Tablica 8. Karakteristični podaci za proračun investicije i uštedu el.energije

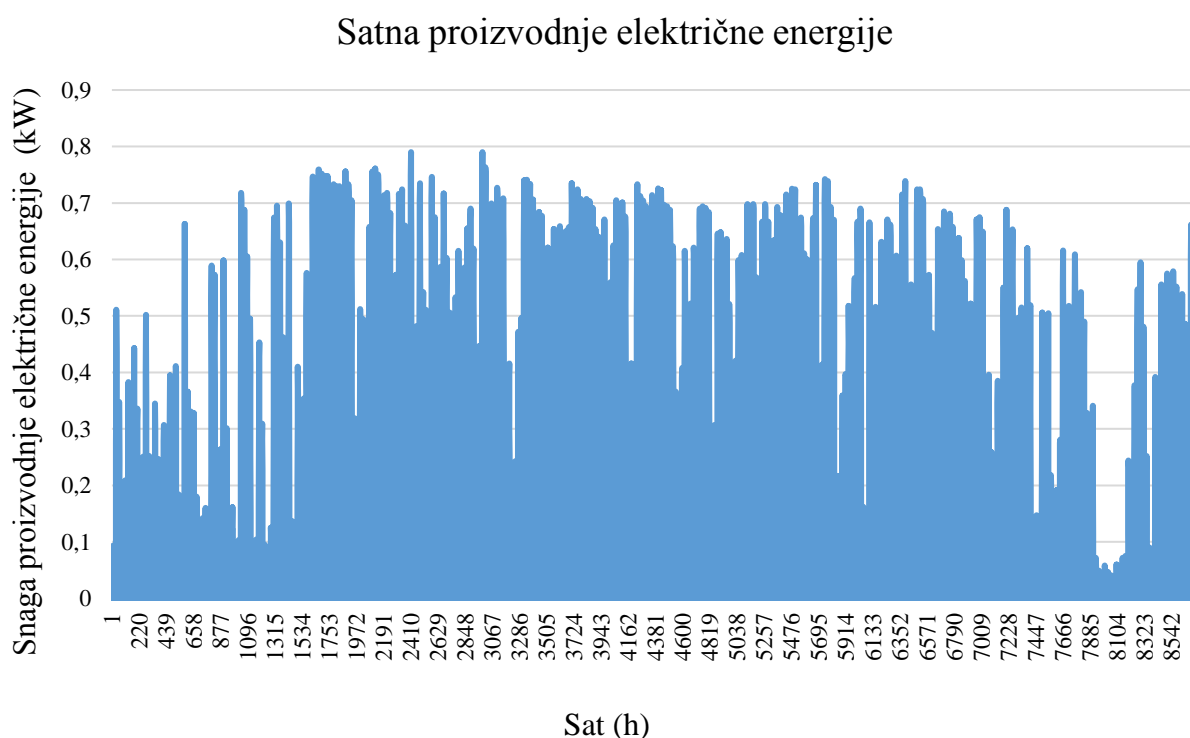
Jedinični trošak (HRK/W)	6
Broj radnih sati sijalice, prosjek (h)	750

d) Ugradnja fotonaponskog sustava

Za modeliranje fotonaponskog sustava potrebno je pratiti satnu proizvodnju el.energije iz fotonaponskog modula te njenu potrošnju u samoj zgradi.

Satna krivulja proizvodnje el. energije preuzeta je sa web stranice Renewables.ninja[30]

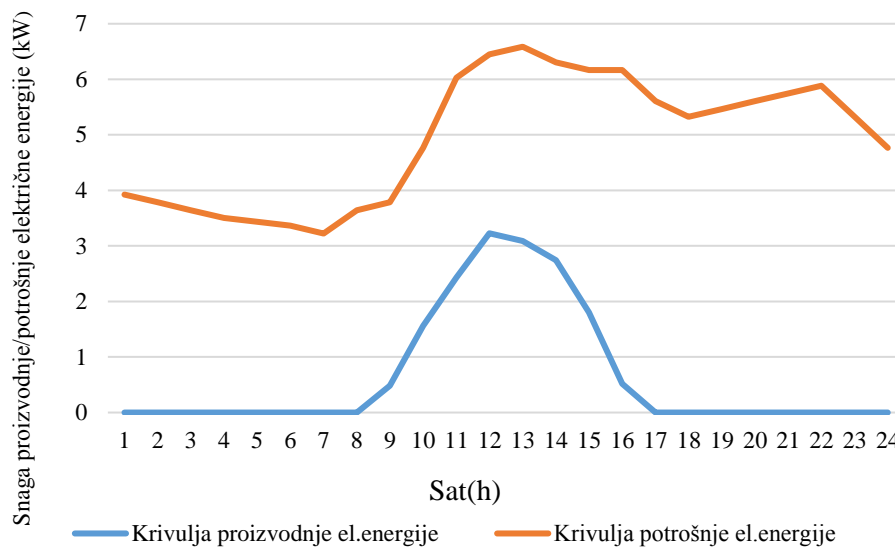
Slika 9. prikazuje satnu krivulju proizvodnje el.energije za snagu 1kWp fotonaponskog sustava na lokaciji Zagrebačke županije.



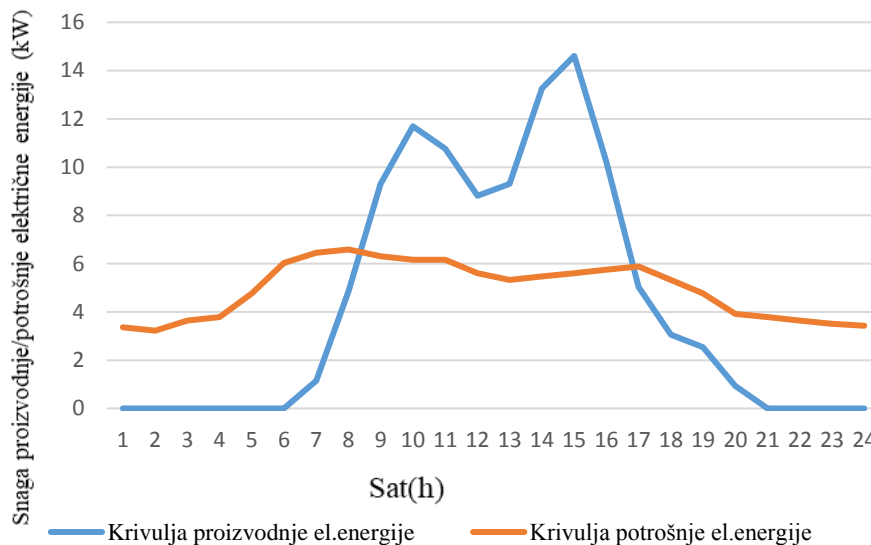
Slika 9. Satna krivulja proizvodnja el. energije

Krivulja potrošnje električne energije dobivena je iz karakteristične krivulje za potrošnju električne energije kod zgrada javnog sektora [20].

Slika 11. i Slika 12. prikazuju kako se odnose krivulje potrošnje i proizvodnje zgrade javnog sektora Zagrebačke županije za reprezentativni dan u zimskom i ljetnom periodu .



Slika 10. Odnos krivulja potrošnje i proizvodnje el.energije za zimski dan



Slika 11. Odnos krivulja potrošnje i proizvodnje el.energije za ljetni dan

5. REZULTATI

Podaci korišteni za proračun potencijalnih mjera energetske obnove preuzeti su u iz izvješća o provedenom energetskom pregledu navedenih zgrada. U ovome radu analizira se mogućnost poboljšanja karakteristika vanjske ovojnice, stolarije, uštede električne energije za rasvjetu te integracije obnovljivih izvora energije kroz solarni i fotonaponski sustav.

Mjere povećanja energetske učinkovitosti razrađene su na temelju tri kriterija:

- Financijski kriterij² – godišnja novčana ušteda te period povrata investicije
- Energetski kriterij – godišnja energetska ušteda, osobito primarne energije
- Ekološki kriterij – smanjenje emisije CO₂

5.1 Prikaz rezultata

Metoda BMEU namijenjena je kako bi prikazala rezultate korištenja mjera energetske učinkovitosti i integracije OIE u zgradama javnog sektora. Prikaz rezultata podijeljen je u dva dijela. Prvi dio prikazuje detaljnije rezultate dviju zgrada javnog sektora Zagrebačke županije (jedna s najmanjim jednostavnim periodom povrata investicije i druga s najvećim) kroz tablični i grafikonski prikaz. Drugi dio rezultata prikazuje utjecaj tih mjera na 10% odabranih zgrada u javnom sektoru Zagrebačke županije.

5.1.1 Detaljniji prikaz dviju zgrada javnog sektora Zagrebačke županije

- a) Osnovna škola Vladimir Nazor (javna zgrada Zagrebačke županije s najmanjim jednostavnim periodom povrata)

Tablica 9. Osnovni podaci o Osnovna škola Vladimir Nazor (12)

Naziv objekta	Osnovna škola "Vladimir Nazor"
Adresa	Zagrebačka 12
Godina izgradnje	1994.
Neto grijana površina zgrade (m²)	3.332 m ²
Broj etaža	2 (prizemlje, kat)
Projektna unutarnja temperatura	20 °C

² Svi troškovi su izraženi bez PDV-a.

Slika 12. prikazuje pročelje zgrade Osnovna škola Vladimir Nazor



Slika 12. Osnovna škola Vladimir Nazor (12)

Tablica 10. Prikaz identificiranih mjera energetske učinkovitosti u Osnovnoj školi Vladimir Nazor

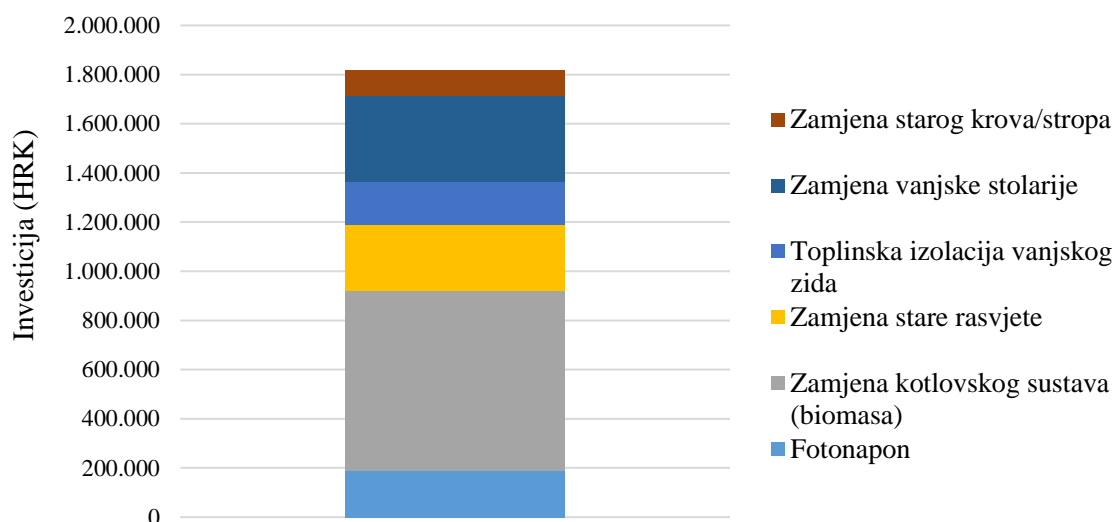
Mjera	Procijenjene uštede toplinske energije /el.energije (kWh)	Smanjenje emisije CO2 (tona/god)
Fotonapon	17.841	6,7
Toplinska izolacija vanjskog zida	7.306	2
Zamjena vanjske stolarije	21.655	6
Zamjena kotlovskog sustava (biomasa)	0	90
Zamjena stare rasvjete	4.611	1,7
Zamjena starog krova/stropa	92.953	25

Tablica 11. prikazuje iznose investicija, godišnjih financijskih ušteda i jednostavnih perioda povrata za predložene mjere. Vrijeme povrata nakon svi predloženih mjera iznosi 7 godina, što predstavlja najmanji period povrata svih javnih zgrada Zagrebačke županije proračunatih u ovom radu.

Tablica 11. Predložene mjere energetske obnove prema jednostavnom periodu povrata (JPP)

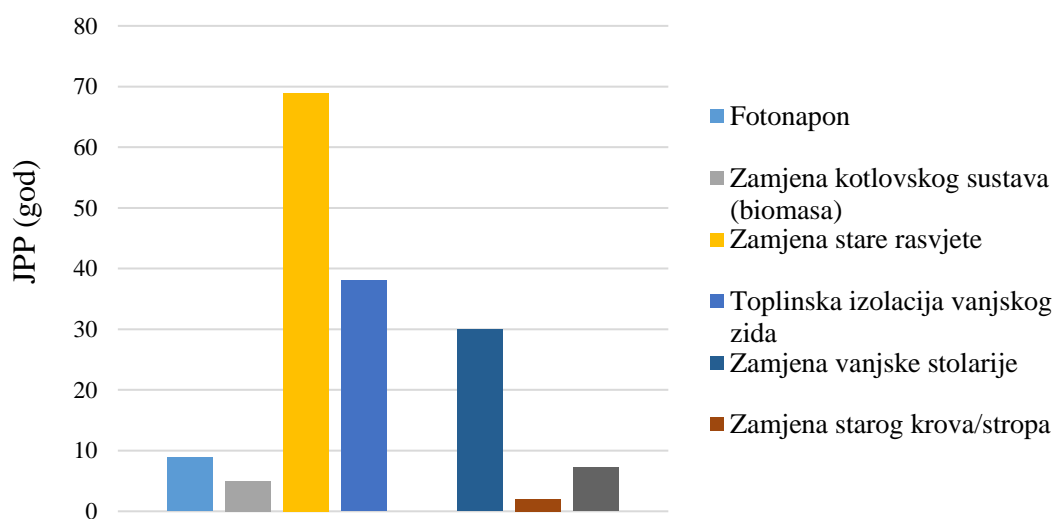
Mjera	Investicija (HRK)	Godišnja financijska ušteda (HRK)	JPP (God)
Zamjena starog krova/stropa	103.290	49.526	2
Zamjena kotlovskog sustava (biomasa)	732.000	153.171	5
Fotonapon	187.729	28.795	9
Zamjena vanjske stolarije	349.000	11.538	30
Zamjena stare rasvjete	173.106	4.550	38
Toplinska izolacija vanjskog zida	270.000	3.893	69
UKUPNO	1.815.125 kn	251.473 kn	7,21

Slika 13. prikazuje iznose investicija po predloženim mjerama. Za mjeru zamjene starog kotlovskog sustava potrebno je izdvojiti najveću investiciju dok za mjeru izolacije starog krova/stropa najmanju.



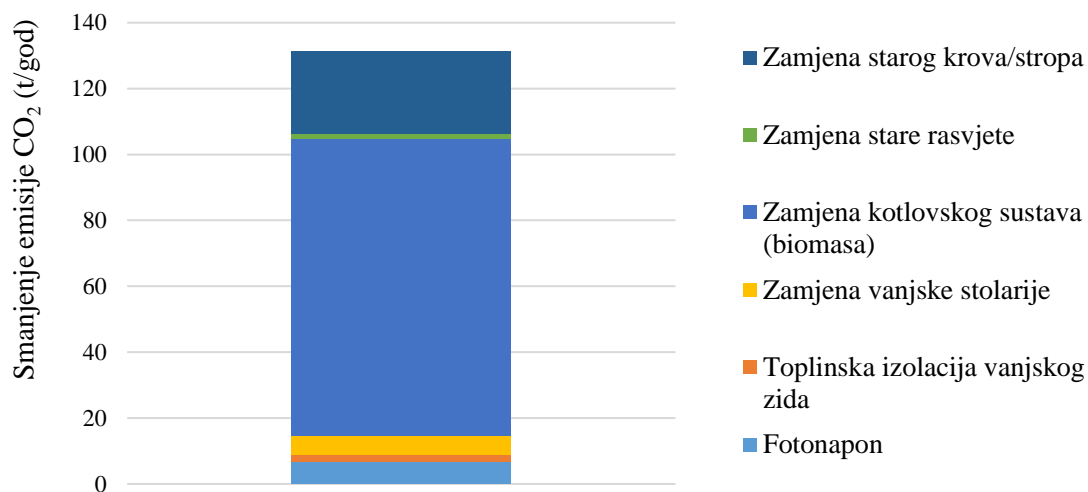
Slika 13. Investicija za uvođenje mjera u Osnovnoj školi Vladimira Nazora

Slika 14. prikazuje jednostavne periode povrata po mjerama, a najveći je period povrata za zamjenu stare rasvjete, dok je najmanji za izolaciju starog krova/stropa.

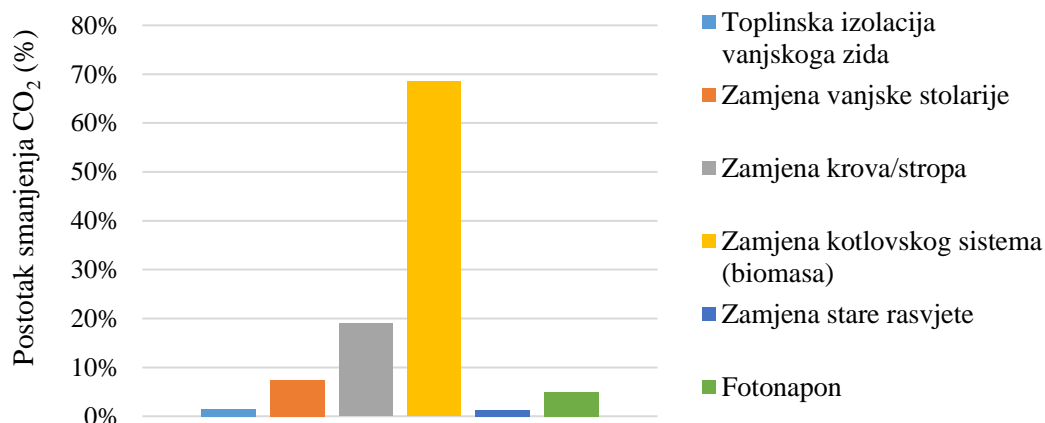


Slika 14. Jednostavni period povrata predloženih mjera za Osnovu školu Vladimira Nazora

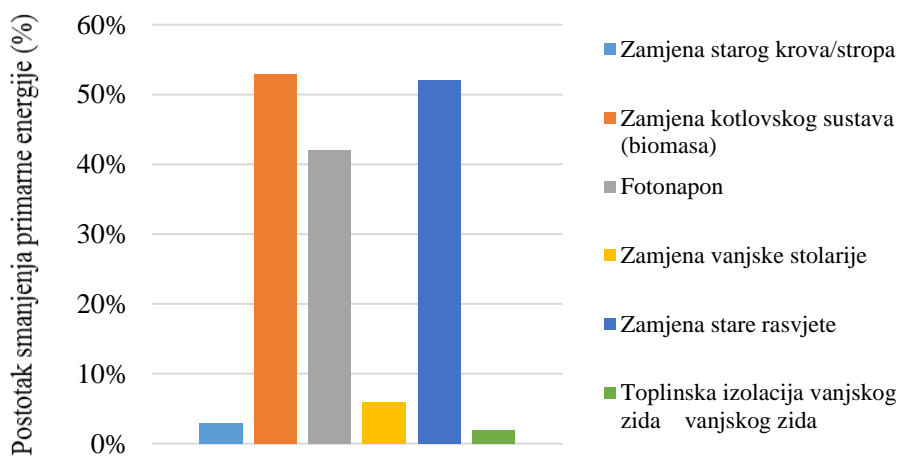
Slika 15. i Slika 16. prikazuju kako pojedine mjere utječu na smanjenje emisije CO₂. Slika 15. prikazuje koliko se tona godišnje uštedi nakon provedene mjere, dok Slika 16. prikazuje za koji se postotak smanjio udio emisija. Mjera zamjene kotlovskeg sustava (biomasa) ima najveći utjecaj na smanjenje postotka emisije CO₂, a mjera zamjene stare rasvjete ima najmanji.



Slika 15. Smanjenje emisije CO₂ nakon predloženih mjera u Osnovnoj školi Vladimira Nazora



Slika 16. Postotak smanjenja emisije CO₂ nakon predloženih mjera u Osnovnoj školi Vladimira Nazora



Slika 17. Postotak smanjenja primarne energije nakon provedenih mjera za Osnovnu školu Vladimira Nazora

Slika 17. prikazuje za koliki se postotak smanjila potrošnja primarne energije nakon predloženih mjera. Iz grafa je vidljivo da mjera toplinske izolacije vanjskog zida ima najmanji utjecaj na smanjenje potrošnje primarne energije, dok mjera zamjene starog kotla najveći.

- a) Društveni dom Mala gorica (javna zgrada Zagrebačke županije s najvećim jednostavnim periodom povrata)

Tablica 12.Osnovni podaci o objektu

Naziv objekta	Društveni dom Mala Gorica
Adresa	Augusta Šenoa bb, Sveta Nedelja 10431
Godina izgradnje	2005.
Neto grijana površina zgrade	306 m ²
Broj etaža	Dvije etaže
Projektna unutarnja temperatura	20 °C



Slika 18. Društveni dom Mala Gorica

Tablica 13. Prikaz identificiranih mjera energetske učinkovitosti u Društvenom domu Mala Gorica

Mjera	Procijenjene uštede toplinske energije /el.en. (kWh)	Smanjenje emisije CO ₂ (tona/god)
Fotonapon	5.472	2
Zamjena vanjske stolarije	1.908	0,38
Zamjena krova/stropa	1.638	0,33
Zamjena kotlovskog sustava (kondenzacijski kotao na prirodni plin)	1.339	0,00
Toplinska izolacija vanjskog zida	6.357	1,28
Zamjena stare rasvjete	2.753	1

Tablica 14. prikazuje da bi ukupna investicija za izvođenje svih mjera iznosila 466.319 kn. Vrijeme jednostavnog perioda povrata za sve predložene mjere iznosi 44 godine.

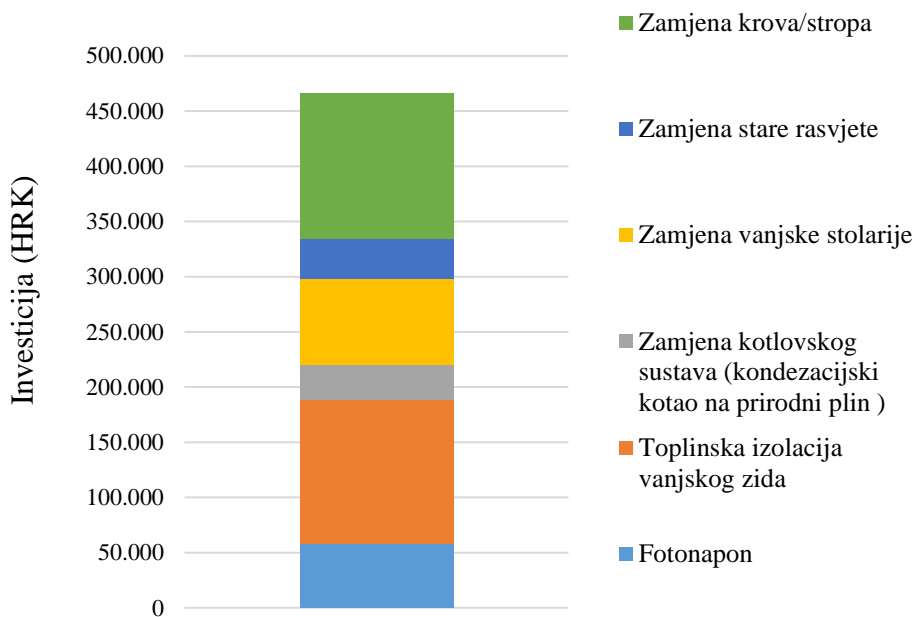
Tablica 14. Predložene mjere energetske obnove prema jednostavnom periodu povrata (JPP)

Mjera	Investicija (HRK)	Godišnja financijska ušteda (HRK)	JPP (god)
Zamjena stare rasvjete	35.597	2.465	14,4
Fotonapon	58.392	3.309	17,6
Toplinska izolacija vanjskog zida	130.000	2.644	49
Zamjena kotlovskog sustava (kondenzacijski kotao na prirodni plin)	32.000	365,20	87,62
Zamjena vanjske stolarije	78.000	793,91	98
Zamjena krova/stropa	132.480	681,59	194,37

Iz dobivenih rezultata proračuna Društvenog doma Mala Gorica može se zaključiti da mjere: zamjene starog kotla, zamjena vanjske stolarije i zamjena krova/stropa nisu isplative jer imaju veliki jednostavni period povrata. Sadašnja stolarija i izolacija krova u toj zgradi ima relativno niske koeficijente prolaska topline (2,3 W/m² i 0,6 W/m²) pa samim time njihova zamjena nije

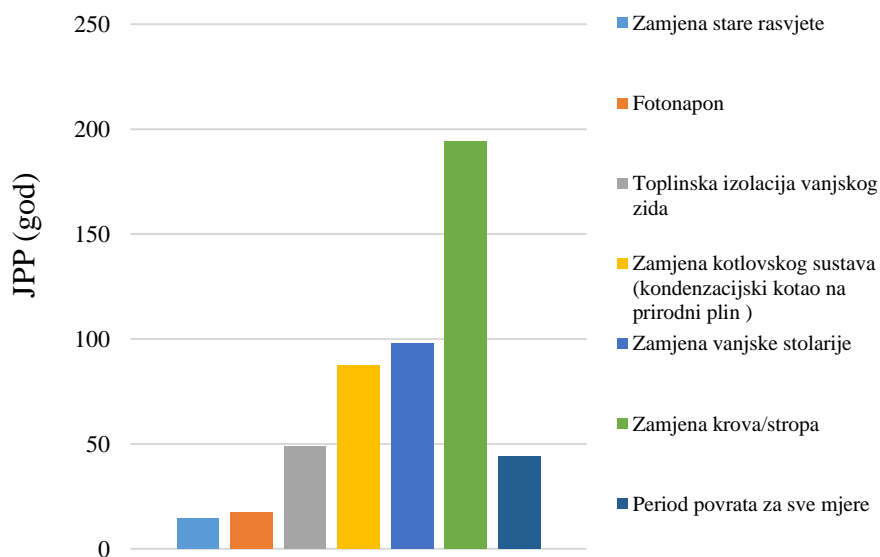
isplativa što je i vidljivo iz proračuna. Zamjena sadašnjeg kotla također nije isplativa jer on ima učinkovitost 98%.

Slika 19. prikazuje iznose investicija po predloženim mjerama. Za mjeru izolacije starog krova/stropa potrebno je izdvojiti najveću investiciju dok za mjeru zamjene stare rasvjete najmanju.



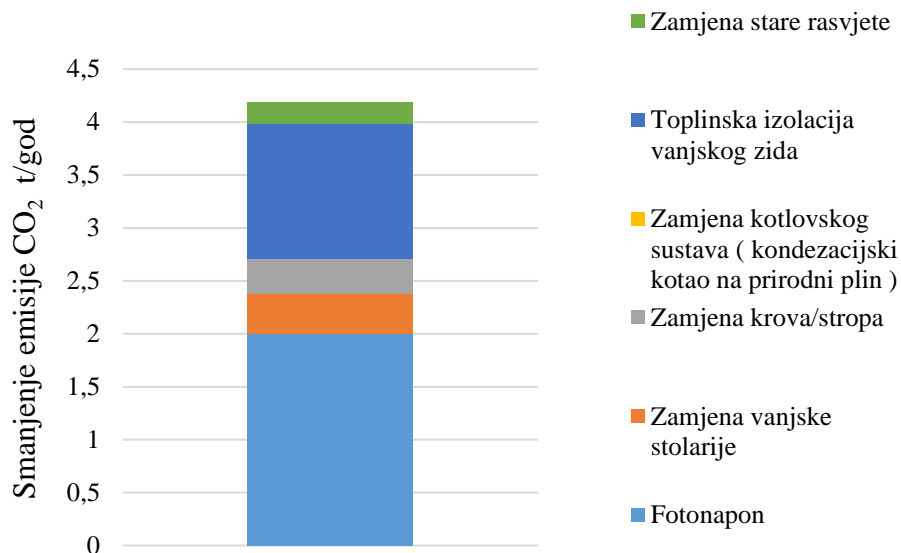
Slika 19. Investicija za uvođenje mjera Društvenog doma Mala Gorica

Slika 20. prikazuje jednostavne periode povrata po mjerama, a najveći je period povrata za izolaciju krova/stropa, dok je najmanji za zamjenu stare rasvjete.

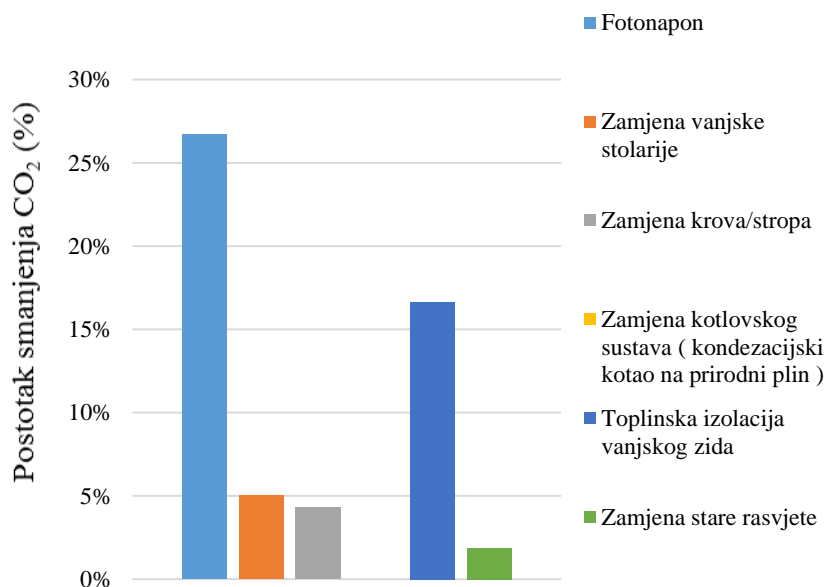


Slika 20. Jednostavni period povrata predloženih energetske mjere

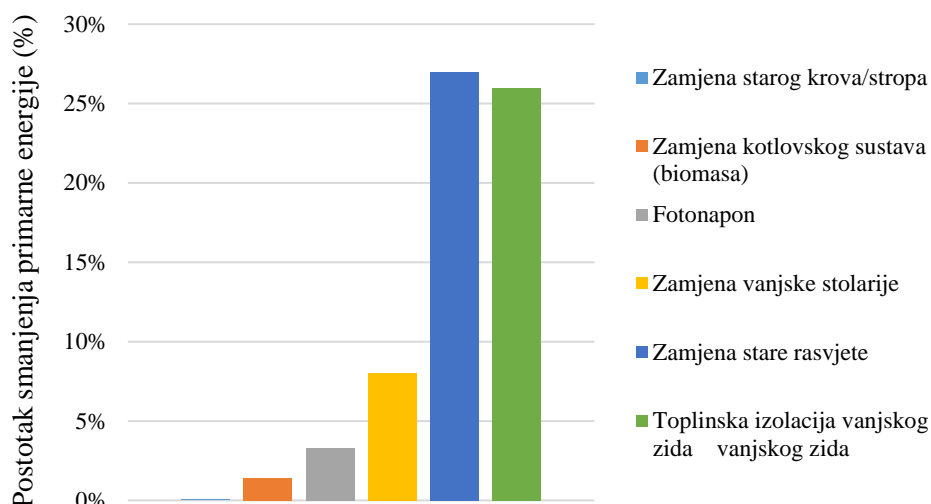
Slika 21. i Slika 22. prikazuju kako pojedine mjere utječu na smanjenje emisije CO₂. Slika 21 prikazuje koliko se tona godišnje uštedi nakon provedene mjere, dok slika 22. prikazuje za koliko se posto smanjio udio emisija. Vidljivo je da predložena mjera ugradnje fotonaponskog sustava ima najveći utjecaj na smanjenje postotka emisije CO₂, a mjera zamjene stare rasvjete najmanji.



Slika 21. Smanjenje emisije CO₂ nakon predloženih mjera u Društvenom domu Mala Gorica



Slika 22. Postotak smanjenja emisije CO₂ nakon predloženih mjera u Društvenom domu Mala Gorica



Slika 23. Postotak smanjenja primarne energije po mjerama za DD Mala Gorica

Slika 23. prikazuje za koliki se postotak smanjila potrošnja primarne energije nakon predloženih mjera. Iz grafa je vidljivo da mjera izolacije starog krova ima najmanji utjecaj na smanjenje potrošnje primarne energije, dok mjera zamjene stare rasvjete najveći.

5.1.2 Prikaz utjecaja energetske mjere na udio odabranih javnih zgrada Zagrebačke županije

Tablica 15. prikazuje energetske i financijske uštede udjela odabranih zgrada javnog sektora Zagrebačke županije.

Tablica 15. Prikaz ušteda, investicija, smanjenja CO₂ javnih zgrada Zagrebačke županije primjenom mjera energetske uštede i integracije OIE

Ime objekta	Ušteda neposredne energije (kWh)	Ušteda (HRK)	Investicija (HRK)	JPP (god)	Postotak smanjenja primarne energije %	Postotak smanjenja CO ₂ %
Dom Zdravlja Velika Gorica	351.213	376.526	5.264.753	17,5	47,4	71,4
Osnovna škola Rugvica	81.855	243.167	2.597.140	14	61,9	60,4
Osnovna škola Slavka Kolara	70.848	151.192	1.426.906	11,73	95	87,4

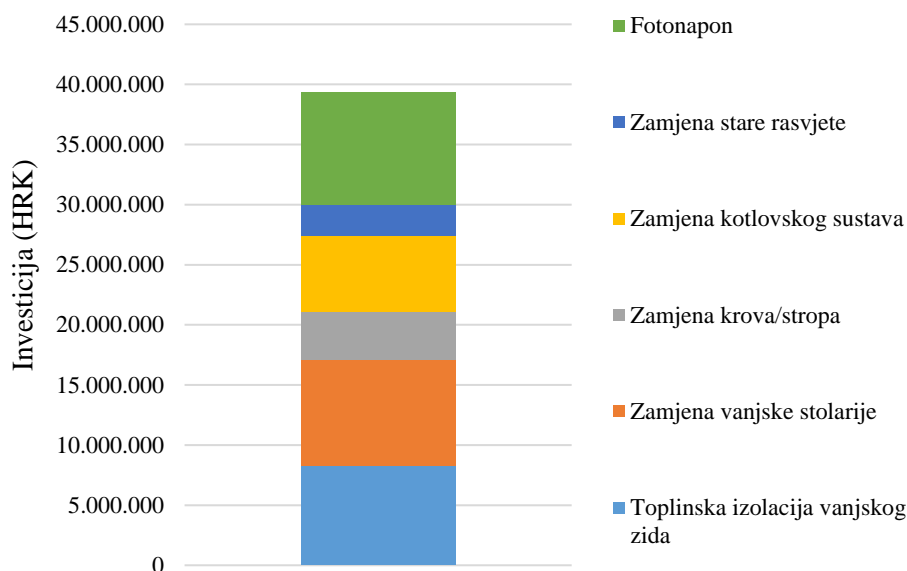
Osnovna škola Vladimir Nazor	144.930	260.124	1.831.326	7,5	84,8	78,3
Srednja Škola Velika Gorica	560.644	717.031	7.586.494	12,5	94,1	82,8
Srednja Škola Ban Josip Jelačić	297.307	351.943	4.969.500	20	84,9	86,6
Srednja Škola Dragutin Stražimir	83.731	52.675	947.673	22	89,2	84,4
Društveni Dom Mala Gorica	17.172	9.752	430.320	44	37,2	54,5
Dječji Vrtić Slavuj	32.479	22.913	623.025	37,5	44,4	26,5
Osnovna škola Ante Kovačića	73.486	33.485	1.229.219	40,5	47,6	42,4
Osnovna škola Bedenica	18.913	13.651	198.955	19	46	36,1
Osnovna škola Braće Radića	101.984	54.477	1.126.979	23	33	29,1
Osnovna škola Dubrava	127.533	57.368	1.826.591	37	23,9	28,8
Osnovna škola Đure Deželića	146.343	82.890	1.322.978	17,5	42,8	40,1
Osnovna škola Gradec	65.463	56.166	706.291	18	35	38,2
Osnovna škola Ivane Brlić- Mažuranić	67.929	47.462	587.500	21	22	21,1
Osnovna škola Ivan Benković	212.756	158.951	1.695.983	18,5	39,2	42,5
Osnovna škola Josipa Badalića	62.949	42.814	626.225	17,5	30,2	34,2
Osnovna škola Kardinala Alojzija Stepinca	161.322	130.628	2.184.724	20	0,38	73,7
Osnovna škola Klinča Sela	114.407	85.185	1.064.150	14	46,1	55,1
Osnovna škola Luka	52.000	22.693	848.439	40	55,1	54,5
UKUPNO	2.845.264	2.971.093	39.132.171	13	52%	66%

Tablica 16. prikazuje ukupne investicije po pojedinim mjerama. Također je vidljivo za koliki se postotak smanji udio emisija CO₂ nakon predloženih mjera (CO₂%). Ugradnja fotonaponskog sustava rezultira najvećom investicijom od 9.326.029,49 kn, dok se mjera zamjene kotlovskog sustava pokazuje kao najbolja prema jednostavnom periodu povrata.

Tablica 16. Predložene mjere energetske obnove prema jednostavnom periodu povrata javnih zgrada Zagrebačke županije (JPP)

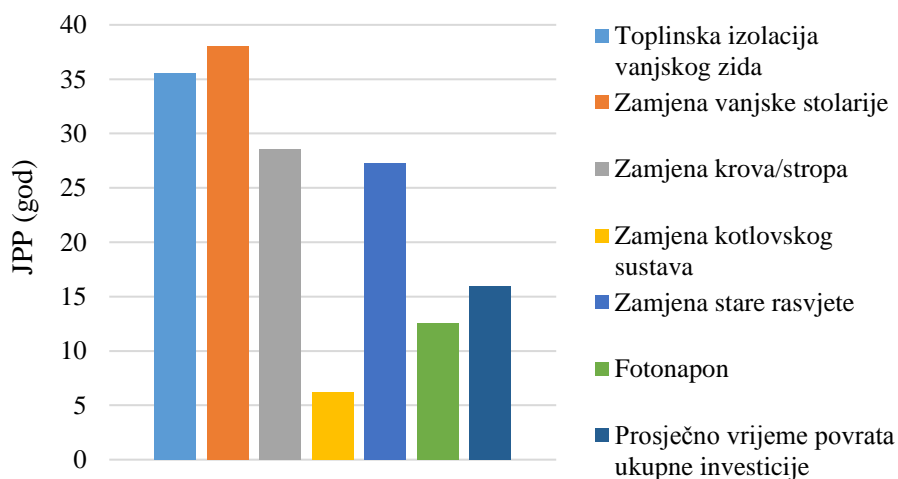
Mjere	Investicija (HRK)	Ušteda (HRK)	JPP (godina)	Smanjenje CO₂ (tona/godina)	CO₂%	Postotak ušteda primarne energije %
Zamjena kotlovskog sustava	6.299.000	1.019.538	6,17	642,13	29,83	53%
Fotonapon	9.326.029	740.584	12,59	10,64	18,4	19%
Zamjena stare rasvjete	2.637.455	96.637	27,29	35,18	1,6	7%
Zamjena krova/stropa	4.043.660	149.289	28,58	78,65	3,64	2,7%
Toplinska izolacija vanjskog zida	8.310.000	233.480	35,59	126,13	5,73	46%
Zamjena vanjske stolarije	8.739.800	229.519	38,07	136,42	6,32	26%
UKUPNO	39.355.945	2.469.050	15,93	1029,18	66%	52%

Slika 24. prikazuje iznose pojedinih investicija po mjerama.



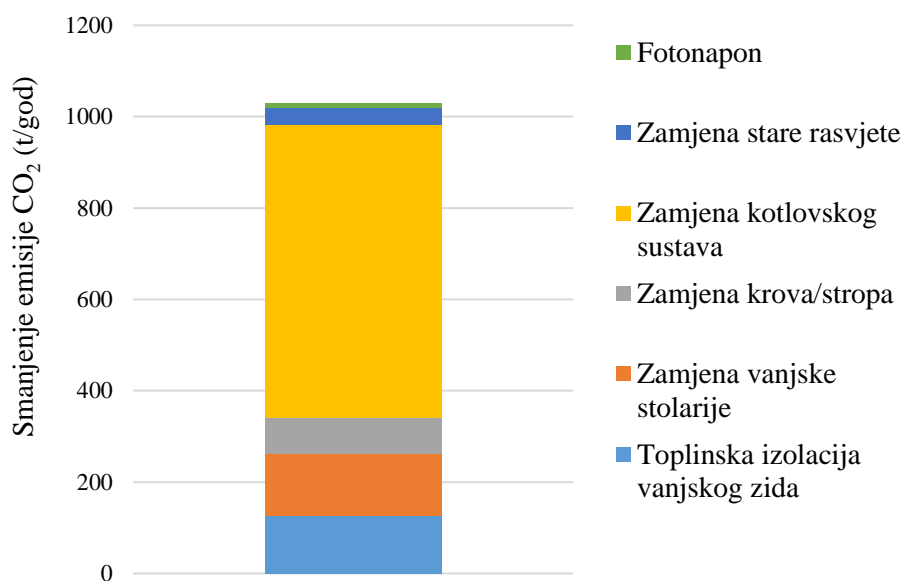
Slika 24. Investicije prema predloženim mjerama na udjelu zgrada Zagrebačke županije.

Slika 25. prikazuje da je najveći period povrata za zamjenu starog krova, dok je najmanji za zamjenu kotlovskeg sistema .

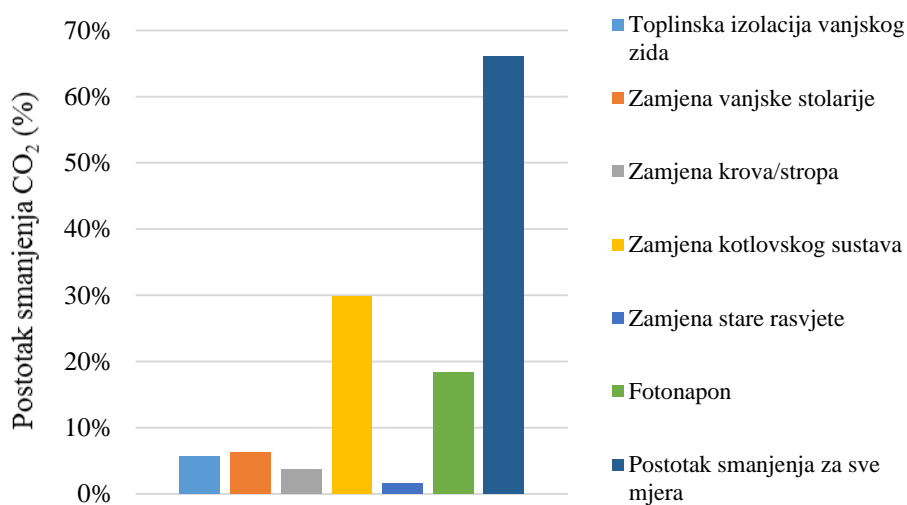


Slika 25. Jednostavni period povrata investicija prema predloženim mjerama na udjelu zgrada Zagrebačke županije

Slika 26. i Slika 27. pokazuju kako pojedine mjere utječu na smanjenje emisije CO₂. Slika 26. prikazuje koliko se tona godišnje uštedi nakon provedene mjere, dok Slika 27. prikazuje za koliko se posto smanjio udio emisija. Vidljivo je da predložena mjera zamjene kotlovskeg sustava (biomasa) ima najveći utjecaj na smanjenje postotka emisije CO₂, a mjera zamjene stare rasvjete najmanji.



Slika 26. Smanjenje emisije CO₂ nakon predloženih mjera



Slika 27. Postotak smanjenja emisije CO₂ nakon predloženih mjera kod udjela zgrada javnog sektora Zagrebačke županije

5.2 Usporedna analiza rezultata sa svim zgradama javnog sektora Zagrebačke županije

Broj objekata i potrošnju toplinske i električne energije svih zgrada javnog sektora Zagrebačke županije pronađen je u Akcijskom planu energetske učinkovitosti Zagrebačke županije za razdoblje 2017. – 2019. godine. Zagrebačka županija je vlasnik ili osnivač javnih ustanova s ukupno 206 objekata. Uspoređujući 206 objekata s brojem objekata koji se koristi u poglavlju 5. gdje broj objekata iznosi 20, zaključak je da se u proračunu koristi oko 10% javnih zgrada Zagrebačke županije.

Analizom podataka ustanovljeno je da 10% zgrada koje se koriste u proračunu ovoga rada troše 25% prosječne godišnje neposredne potrošnje energije svih zgrada javnog sektora. Neposredna potrošnja energije definirana je kao energija isporučena krajnjim kupcima u zgradarstvu.

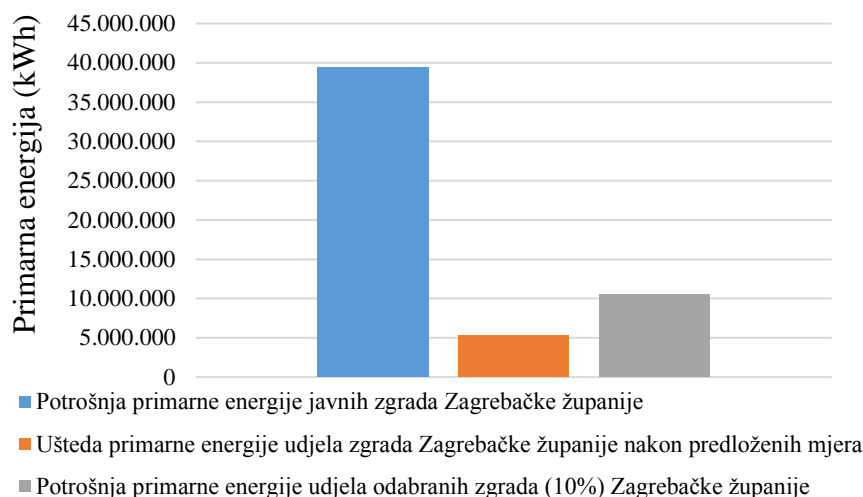
Tablica 17. Prikaz prosječne godišnje neposredne potrošnje energije u sektoru zgradarstva Zagrebačke županije po pojedinom energentu [26]

Lož ulje (kWh)	2.472.222
Prirodni Plin (kWh)	18.394.444
CTS (kWh)	738.888
Električna energija (kWh)	6.222.222
UNP (kWh)	155.554
Biomasa (kWh)	855.554
Ukupno (kWh)	32.347.222

Da bi se dobila potrošnja primarne energije potrebno je pomnožiti prosječnu godišnju potrošnju neposredne enerije po pojedinom energentu s faktorom primarne energije.

Tablica 18. Prikaz prosječne godišnje primarne potrošnje energije u sektoru zgradarstva Zagrebačke županije po pojedinom energentu [26]

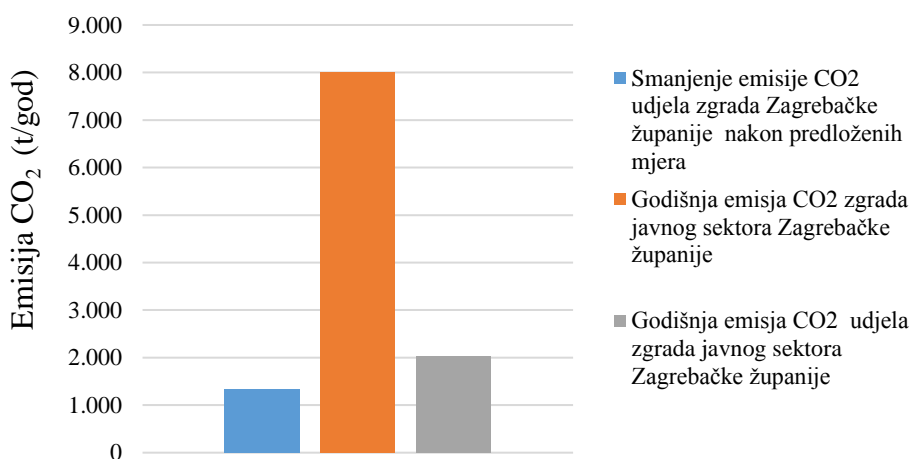
Lož ulje (kWh)	3.104.360
Prirodni Plin (kWh)	20,412.624
CTS (kWh)	1,103.899
Električna energija (kWh)	10,078.532
UNP (kWh)	180.442
Biomasa (kWh)	101.075
Ukupno (kWh)	39.396.534



Slika 28. Usporedba potrošnje i uštede primarne energije

Slika 28. prikazuje usporedbu potrošnje primarne energije svih javnih zgrada Zagrebačke županije i njenu uštedu nakon predloženih mjera na 10% zgrada. Potrošnja primarne energije udjela odabranih zgrada iznosi 26% od ukupne potrošnje svih zgrada. Ušteda primarne energije iznosi 14% od ukupne potrošnje primarne energije svih zgrada.

Da bi se dobila emisija ispuštanja CO₂ javnih zgrada Zagrebačke županije potrebno je pomnožiti prosječnu godišnju potrošnju neposredne energije po pojedinom energentu s emisijskim faktorom CO₂ po energetskej jedinici goriva.



Slika 29. Usporedba emisija CO₂

Slika 29. prikazuje usporedbu emisije CO₂ svih javnih zgrada Zagrebačke županije i njeno smanjenje nakon predloženih mjera na 10% javnih zgrada. Godišnja emisija CO₂ udjela odabranih zgrada iznosi 25% od ukupne emisije svih zgrada. Smanjenje emisije CO₂ iznosi 16% od ukupne emisije CO₂ svih zgrada.

6. ZAKLJUČAK

U ovome radu napravljena je analiza utjecaja energetske mjera i integracija obnovljivih izvora energije u zgradama javnog sektora Zagrebačke županije. Kako sektor zgradarstva predstavlja najveći udio u finalnoj potrošnji energije u Europskoj uniji, istovremeno predstavlja i najveći potencijal za uštede u primarnoj i finalnoj potrošnji. Ovim radom se pokazalo kolike su te uštede u javnom sektoru zgradarstva Zagrebačke županije.

Analiza je napravljena pomoću aplikacije BMEU. Riječ je o aplikaciji koja u sebi uključuje 6 mjera: toplinsku izolaciju vanjskoga zida, zamjenu vanjske stolarije, izolaciju krova/stropa, ugradnju novog kotlovskeg sustava (biomasa/kondenzacijski kotao na prirodni plin), zamjenu starog i niskoučinkovitog sustava rasvjete i ugradnju fotonaponskog sustava.. Zamišljena je tako da uključuje većinu ili barem udio zgrada javnog sektora neke jedinice lokalne samouprave ili županije, te na temelju zajedničke sume financijskih ušteda, smanjenja emisija stakleničkih plinova (CO₂) i jednostavnog perioda povrata se odlučuje hoće li se ići u realizaciju obnove tih zgrada ili ne.

Analizom rezultata predloženih mjera na udjelu od 10% zgrada javnog sektora Zagrebačke županije dolazi se do zaključka da mjera zamjene starog kotlovskeg sustava ima najmanji jednostavni period povrata u trajanju od 6 godina. Ona ima najveći postotak uštede primarne energije (53%) te najviše utječe na smanjenje emisije CO₂. Mjera zamjene stare vanjske stolarije ima najveći jednostavni povrat perioda od 38 godina.

Iz dobivenih rezultata evidentno je kako 10% javnih zgrada obuhvaćenih ovim radom troši 25% neposredne (finalne) energije svih javnih zgrada Zagrebačke županije. Nadalje, uočeno je kako predmetne zgrade ostvaruju uštedu od 14% primarne energije od ukupne potrošnje, te smanjuju emisiju CO₂ za 16% od ukupne emisije svih javnih zgrada.

Iznos investicije potreban za provedbu svih mjera obuhvaćenih ovim radom i za ostvarenje navedenih ušteda, iznosi približno 40.000.000 kn.

ZAHVALA

Ovaj rad je izrađen u suradnji s Regionalnom energetsom agencijom sjeverozapadne Hrvatske (REGEA).

Ovaj rad je izrađen u sklopu projekta RESFlex financiranog od strane Hrvatske zaklade za znanost (pod šifrom 3300).

7. LITERATURA

- [1] T.Gelo, Interkonekcija potrošnje energije i rasta BDP-a (2010)
- [2] Enerpedia: Održivi razvoj energetike.
http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=ODR%C5%BDIVI_RAZVOJ_ENERGETIKE (posljednji pristup 22.9.2017)
- [3] Enerpedia, Klimatske promjene, vidljivo na web stranicama:
http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=ENERGETIKA_I_OKOLI%C5%A0 (posljednji pristup 22.9.2017)
- [4] Ž.Tomšić, Energetika, okoliš i održivi razvoj, vidljivo na web stranicama
https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/EOOR_Skripta_Energetika_i_odrzivi_razvoj%5B3%5D.pdf (posljednji pristup 22.9.2017)
- [5] Priručnik za energetske savjetnike, vidljivo na web stranicama: <https://www.eni.hr/wp-content/uploads/2016/03/Priru%C4%8Dnik-za-energetske-savjetnike.pdf> (posljednji pristup 22.9.2017)
- [6] Direktiva 2010/31/EU, vidljivo na web stranicama <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX:32010L0031> (posljednji pristup 22.9.2017)
- [7] Izrada i provedba Strategije niskougljičnog razvoja RH za razdoblje do 2030. s pogledom do 2050
- [8] N.Duić, Održivi razvoj energije, voda i okoliš
- [9] Enerpedia: Finalna potrošnja energije i energetska efikasnost, vidljivo na web stranicama:
http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=FINALNA_POTRO%C5%A0NJA_I_ENERGETSKA_EFIKASNOST#Energetska_efikasnost_u_sektoru_zgradarstva (posljednji pristup 22.9.2017)
- [10] Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske, vidljivo na web stranicama:
http://narodne.novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2009_10_130_3192.html (posljednji pristup 22.9.2017)
- [11] Prvi nacionalni akcijski plan za energetske učinkovitost 2008.2010, vidljivo na web stranicama:
<https://www.mingo.hr/userdocsimages/energetika/Prvi%20nacionalni%20akcijski%20plan%20za%20energetsku%20u%C4%8Dinkovitost%202008.%20-%202010..pdf> (posljednji pristup 22.9.2017)

- [12] Drugi nacionalni akcijski plan energetske učinkovitosti za razdoblje do kraja 2013, vidljivo na web stranicama:
http://www.mzoip.hr/doc/2_nacionalni_akcijski_plan_energetske_ucinkovitosti_za_ra_zdoblje_do_kraja_2013.pdf (posljednji pristup 22.9.2017)
- [13] Treći nacionalni akcijski plan energetske učinkovitosti za razdoblje 2014. – 2016, vidljivo na web stranicama:
https://www.mingo.hr/public/3%20Nacionalni_akcijski_plan.pdf
(posljednji pristup 22.9.2017)
- [14] Studija primjenjivosti alternativnih sustava, Eelementi za izradu Elaborata alternativnih sustava opskrbe energijom, vidljivo na web stranicama:
http://www.mgipu.hr/doc/EnergetskaUcinkovitost/STUDIJA_primjenjivosti_AS.pdž
(posljednji pristup 22.9.2017)
- [15] <http://www.abs.hr/karakteristike-i-savjeti/50-energetska-efikasnost-u-izgradnji>
(posljednji pristup 22.9.2017)
- [16] HEP toplinarstvo, Energetski institut Hrvoje Požar, vidljivo na web stranicama:
<https://bib.irb.hr/datoteka/350196.brosura.indd.pdf> (posljednji pristup 22.9.2017)
- [17] Direktiva 2010/31/EU, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&qid=1506067353895&from=EN>
(posljednji pristup 22.9.2017)
- [18] Direktiva 2012/27/EU, vidljivo na web stranicama: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0027&from=EN>
(posljednji pristup 22.9.2017)
- [19] M. Jukić: Biomasa.
https://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/2_OIE_Jukic_biomasa%5B1%5D
(posljednji pristup 22.9.2017)
- [20] B. Pavković: Projekt poticanje energetske efikasnosti u Hrvatskoj.
<http://www.enu.fzoeu.hr/assets/files/post/146/list/3tm.pdf>
(posljednji pristup 22.9.2017)
- [21] Energy Policy - Modeling hourly electricity dynamics for policy making in long-term scenarios.
- [22] Lj. Majdandžić, Priručnik: Fotonaponski sustavi.
http://www.solarni-paneli.hr/pdf/01_handbook_fotonapon.pdf
(posljednji pristup 22.9.2017)

- [23] B.Međimurec, Energetska učinkovitost zgrade nakon implementacije mjera poboljšanja energetske svojstava na primjeru obiteljske kuće.
<https://zir.nsk.hr/islandora/object/unin%3A435/datastream/PDF/view>
(posljednji pristup 22.9.2017)
- [24] Svjetlotehnički priručnik, katalog energetske učinkovite rasvjete.
http://www.regea.org/assets/files/1_publikacije/Svjetlotehnicki-prirucnik_Varcuj-Stedi.pdf (posljednji pristup 22.9.2017)
- [25] FER, LED rasvjeta.
https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/ELRasvjeta_rasvjeta_4%5B1%5D.pdf
(posljednji pristup 22.9.2017)
- [26] Financijska usporedba energenata obzirom na energetske vrijednost goriva i iskoristivost kotla : <http://www.servis-perkovic.hr/montaza-centralnog-grijanja/financijska-usporedba-energenata.aspx> (posljednji pristup 22.9.2017)
- [27] REGEA, Akcijski plan energetske učinkovitosti Zagrebačke županije za razdoblje 2017. – 2019. godine.
- [28] Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja
http://www.mgipu.hr/doc/EnergetskaUcinkovitost/FAKTORI_primarne_energije.pdf
(posljednji pristup 22.9.2017)
- [29] Pravilnik o sustavu za praćenje, mjerenje i verifikaciju ušteda energije
http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015_06_71_1368.html
(posljednji pristup 22.9.2017)
- [30] Web program : www.renewables.ninja.com (posljednji pristup 22.9.2017)

PRILOZI

CD-R disc